

INGENIERIA DE TRANSITO

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES

INGENIERIA DE TRANSITO

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES

7a. Edición

Rafael Cal y Mayor Reyes Spíndola †

James Cárdenas Grisales

C&M

Cal y Mayor y Asociados



Universidad del Valle



Los autores:

Rafael Cal y Mayor Reyes Spíndola †

Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma de México
Ingeniero de Tránsito, University of Yale, New Haven,
Connecticut, U. S. A.
Fundador de Cal y Mayor y Asociados, S.C., México, D.F.

James Cárdenas Grisales

Ingeniero Civil, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia
Maestro en Ciencias en Ingeniería de Tránsito, University of Maryland,
College Park, Md. U. S. A.
Profesor titular, Universidad del Valle, Cali, Colombia

Al cuidado de la edición:

Enrique García Carmona
Jefe de ediciones

Revisión:

Leticia Castañeda Molinar
Francisco Javier Rodríguez Cruz

Apartado Postal 7-1032, 06700 México, D. F.

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial,
Registro No. 663

ISBN 970-12-1003-4

IMPRESO EN MEXICO - PRINTED IN MEXICO

PREFACIO

Esta constituye la séptima edición del libro *Ingeniería de Tránsito*, se apoya en las que se publicaron en los años de 1962, 1966, 1972, 1974, 1978 y 1982. Todas esas ediciones anteriores fueron escritas por el Ingeniero *Rafael Cal y Mayor Reyes Spíndola*, pionero en América Latina de la Ingeniería de Tránsito. La muerte del autor, en 1986, marcó la suspensión de la actualización del libro y de su reedición. Preocupado por mantener la difusión de esta disciplina, en sus últimas instrucciones testamentarias, encargó a la empresa que él fundó, *CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS, S.C.*, la actualización y reedición de su libro.

La empresa *CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS, S.C.*, consultora en tránsito y en transporte, urbano e interurbano, de pasajeros y de carga, preocupada por la difusión y aplicación de la ingeniería de tránsito en América Latina y cumpliendo con la última instrucción de su fundador, incluyó dentro de sus programas de trabajo 1993 y 1994, la actualización del libro. Una vez iniciado el esfuerzo, se decidió aprovechar el conocimiento técnico acumulado dentro del área de ingeniería de tránsito de la empresa, para vertirlo en la nueva edición, permitiendo la ampliación y profundización de la obra.

Para lograr esta nueva edición, *CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS, S.C.*, en coordinación con la *UNIVERSIDAD DEL VALLE* de Cali, Colombia, encomendó tal labor al Ingeniero *James Cárdenas Grisales*, maestro en ciencias y profesor titular de la misma. A través del desarrollo del trabajo, se vio, como lo podrá confirmar el lector, lo adecuado de que haya sido el ingeniero Cárdenas Grisales el coautor. El entusiasmo, la dedicación total y sus conocimientos técnicos lo han hecho insustituible.

Tal como lo mencionaba el Ingeniero Rafael Cal y Mayor , "...el libro tuvo su origen como una necesidad de difundir la nueva técnica de la Ingeniería de Tránsito, tanto entre los ingenieros como entre los administradores, educadores, legisladores, agentes de ley y otros técnicos cuya labor guarda relación con el tránsito. Originalmente, la obra fue formada

siguiendo el plan de estudios de la materia *Nociones de Ingeniería de Tránsito* incluida en el programa de la Escuela de la Policía Federal de Caminos. Los apuntes allí producidos pasaron después a formar la materia *Ingeniería de Tránsito* de la carrera de Ingeniería Civil de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional. Desde luego, los temas fueron ampliados para cubrir lo que el ingeniero debe conocer de esta nueva técnica. Más tarde, estos apuntes recibieron nuevo impulso al ser renovados para la materia de *Ingeniería de Tránsito* que se incluyó en los Cursos de Especialización en Vías Terrestres que contemplaba en sus programas la División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Así, después de algunos años y conservando lo mejor de cada plan y teniendo en mente las necesidades de todos los que, de una manera u otra, tienen que ver con el tránsito, se completó el contenido de la obra, tratando de cubrir los aspectos más sobresalientes del problema".

En la presente edición, se ha ampliado y profundizado el contenido de la anterior, usando un enfoque técnico con el propósito de que el libro sea utilizado como texto guía o de consulta en cualquier Facultad de Ingeniería, en los cursos de Ingeniería de Tránsito tanto de pregrado como de posgrado. Descartando los temas muy técnicos, el libro conserva su estructura básica, pudiendo también servir para los cursos que le dieron vida en sus primeras ediciones.

Agradecemos a las Directivas de la Universidad del Valle de Cali, Colombia, por haberle permitido al ingeniero James Cárdenas Grisales, en coautoría, realizar esta nueva edición. A todo el personal de la empresa Cal y Mayor y Asociados, S.C., en especial a la licenciada Lourdes Jiménez Real, al ingeniero Oscar Salcedo Yusti, al ingeniero Jaime Ramos Tobón, al ingeniero José Antonio Beltrán Arias y al arquitecto Miguel Enrique Beltrán Aguirre. Al ingeniero Román Vázquez Berber, por sus sugerencias. Al doctor Luis Willumsen por su valiosos comentarios. A la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, a la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano y a la Secretaría General de Obras y Servicios del Distrito Federal, por la información y fotografías suministradas. A la Asociación Mexicana de Ingeniería de Transportes. Y a todas aquellas personas que directa e indirectamente apoyaron la realización de este esfuerzo.

Patricio Cal y Mayor Leach, I.C., M.B.A.
DIRECTOR GENERAL DE CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS, S.C.

Los capítulos 1 y 2, *Antecedentes* y *Problemas del Tránsito y su Solución*, dan al lector un amplio conocimiento de los antecedentes del problema del tránsito, a través de la evolución histórica de las carreteras, las calles y los transportes. Como corolario del planteamiento presentado se deduce la causa del problema, los factores contribuyentes y las posibles soluciones para el necesario intento de contrarrestar el problema.

El capítulo 3, *Ingeniería de Tránsito y Transporte*, ubica la ingeniería de tránsito dentro del contexto de la ingeniería de transporte. Se conceptualiza de una manera muy general y clara sobre la estructura básica del transporte, sus sistemas y modos, para finalmente arribar a los alcances de la ingeniería de tránsito como tal.

Los capítulos 4, 5 y 6, *Usuario, Vehículo* y *Camino*, presentan un cuadro amplio de los elementos que forman el tránsito. Cada uno es analizado en detalle, lo que permite conocer mejor sus características y comportamiento dentro de la corriente de tránsito.

El capítulo 7, *Dispositivos para el Control del Tránsito*, realiza una presentación detallada de las señales preventivas, restrictivas e informativas, de las marcas sobre el pavimento, de los dispositivos para protección en obra y de los semáforos. La presentación de los temas se apoya en el Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras de 1986 y en el Manual de Señalamiento Turístico y de Servicios de 1992, editados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México y actualmente vigentes.

Volumen de Tránsito, tratado en el capítulo 8, analiza las distribuciones espaciales y temporales de los diferentes volúmenes de tránsito sean éstos absolutos, promedios diarios u horarios. Se estudia su distribución, composición, variación, ajuste y pronóstico futuro.

El capítulo 9, *Velocidad*, analiza también su distribución temporal y espacial, como uno de los indicadores más importantes de la calidad de la operación vehicular. Se estudian todos los diversos tipos de velocidad, con especial énfasis en las velocidades de punto y de recorrido.

El tema del capítulo 10, *Análisis del Flujo Vehicular*, a través del análisis de las variables de la corriente de tránsito: flujo, velocidad y densidad, permite entender las características y el comportamiento del tránsito de una manera continua como un fluido, al igual que incorpora su característica aleatoria. A este respecto, se dan a conocer una serie de modelos matemáticos que relacionan las variables del flujo y que permiten caracterizarlo.

En el capítulo 11, *Congestionamiento*, se aborda de una manera analítica y gráfica este problema, puesto que uno de los objetivos de los ingenieros de tránsito y transportes es el de planear, diseñar y operar sistemas

viales, de tal manera que las demoras inducidas en los usuarios sean mínimas. Se realiza un análisis determinístico del congestionamiento en intersecciones con semáforos y en cuellos de botella, lo mismo que un análisis probabilístico de este fenómeno como filas de espera.

El capítulo 12, *Capacidad Vial*, analiza la capacidad y el nivel de servicio de los elementos componentes del sistema vial, rural o urbano, conociendo sus características físicas o geométricas y los flujos vehiculares bajo una gran variedad de condiciones. Con el propósito de introducir al lector en este tema, se tratan los componentes más importantes del sistema vial, como lo son las autopistas, las carreteras de carriles múltiples, las carreteras de dos carriles y las intersecciones con semáforos, realizando análisis operacionales y de proyecto.

Semáforos, estudiado en el capítulo 13, complementa sus características como dispositivo de control del tránsito, al igual que presenta todos los aspectos necesarios para el cálculo de longitudes de ciclos y la repartición de sus tiempos en las diferentes fases adoptadas. Se dan a conocer los principios fundamentales para la coordinación de semáforos.

Otro tema, *Estacionamientos*, del capítulo 14, analiza de una manera general la operación de los estacionamientos en la calle y fuera de la calle en lotes o edificios, tanto en lo referente a su oferta como a su demanda. Al final se dan normas generales y tipos de estacionamientos a utilizar.

El capítulo 15, *Accidentalidad*, proporciona al lector un panorama global de la magnitud del problema a través de datos estadísticos de accidentes, nacionales y mundiales. Para medir su gravedad se definen diferentes índices, lo cual permite tener un diagnóstico, realizar comparaciones y presentar programas para prevenirlos o aminorarlos.

Por último, el capítulo 16, *Transporte Público*, da al lector una idea general de lo que se debe considerar del transporte público o masivo, dentro de los estudios técnicos relacionados con el tránsito. Se analiza el sistema de transporte público mediante datos estadísticos a través de los años, con especial énfasis en los sistemas de gran capacidad como el sistema de transporte colectivo, Metro.

Rafael Cal y Mayor Reyes Spíndola †
James Cárdenas Grisales

Colaboraron en la edición de esta obra:

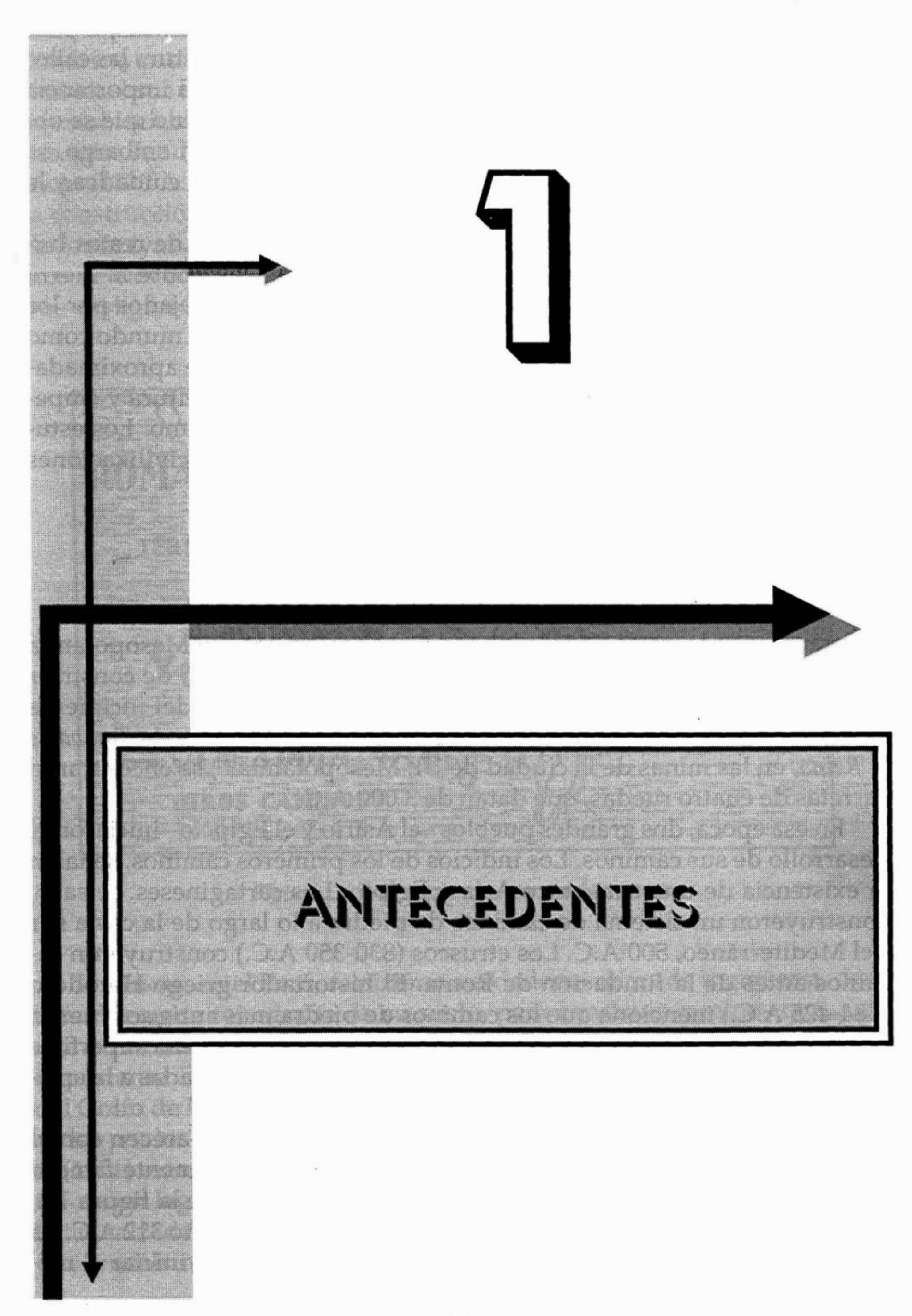
Diseño y diagramación

Noreen Luz Delgado Delgado
Jesús García Alvarez

Producción

Guillermo González Dorantes

CONTENIDO



1

ANTECEDENTES

Para empezar, se hará un breve repaso en la escala del tiempo para darnos cuenta de cómo el vehículo, que actualmente satura las calles y carreteras, se ha incorporado a la vida cotidiana y la importancia que tiene hoy en día. Algunos pueden pensar que el vehículo que se observa todos los días no constituye ninguna novedad y, sin embargo, se verá que su edad es insignificante, comparada con la de las ciudades y la de muchos caminos [1].

Según algunos antropólogos, basados en los estudios de restos humanos y reliquias arqueológicas, el ser humano existe sobre la Tierra cuando menos hace unos 100 000 años. Por los vestigios dejados por los primitivos, principalmente en los valles de algunos ríos del mundo como el Nilo, el Eufrates y el Ganges, se supone que desde hace aproximadamente unos 10 000 años el hombre llegó a conocer la agricultura y empezó a fijar su lugar de residencia, abandonando el nomadismo. Los estudios arqueológicos dicen, sin embargo, que las antiguas civilizaciones florecieron hasta hace unos 6 000 años.

1.1 PRIMEROS CAMINOS

Más tarde, con la invención de la rueda, probablemente en Mesopotamia (Asia Menor), hace unos 5 000 años, se originó la necesidad de construir superficies de rodamiento que permitieran la circulación del incipiente tránsito de entonces. Lo anterior se supone debido a que, en la *Tumba de la Reina*, en las minas de la ciudad de Ur, Mesopotamia[2], se encontraron carretas de cuatro ruedas, que datan de 3 000 A.C.

En esa época, dos grandes pueblos –el Asirio y el Egipcio– iniciaron el desarrollo de sus caminos. Los indicios de los primeros caminos, señalan la existencia de una ruta entre Asia y Egipto. Los cartagineses, se sabe, construyeron un sistema de caminos de piedra a lo largo de la costa sur del Mediterráneo, 500 A.C. Los etruscos (830-350 A.C.) construyeron caminos antes de la fundación de Roma. El historiador griego Heródoto (484-425 A.C.) menciona que los caminos de piedra más antiguos fueron construidos por el rey Keops de Egipto, para proporcionar una superficie de rodamiento al transporte de las inmensas piedras destinadas a la erección de las pirámides.

Los primeros caminos construidos científicamente aparecen con el advenimiento del Imperio Romano. Cabe citar la mundialmente famosa Vía Appia, de Roma a Hidruntum, ilustrada en el mapa de la figura 1.1, cuya construcción fue iniciada por Appius Claudius en el año 312 A.C. La evidencia justifica el conceder el mérito a los romanos por iniciar el mé-

todo científico de la construcción de caminos. Las culturas antiguas de América, entre ellas la de los mayas (posiblemente antes de la era Cristiana), en el sur de México y norte de Centro América; la de los toltecas, que se establecieron en la Meseta Central, en México, por el año 752; los aztecas (que fundaron Tenochtitlan, hoy Ciudad de México, en 1325), y los incas (1100 A.C.), en el Perú, dejaron huellas de una avanzada técnica en la construcción de caminos, siendo notables los llamados *Caminos Blancos* de los mayas. Estos últimos, formados con terraplenes de uno y dos metros de elevación, eran cubiertos con una superficie de piedra caliza, cuyos vestigios existen actualmente en Yucatán, México.

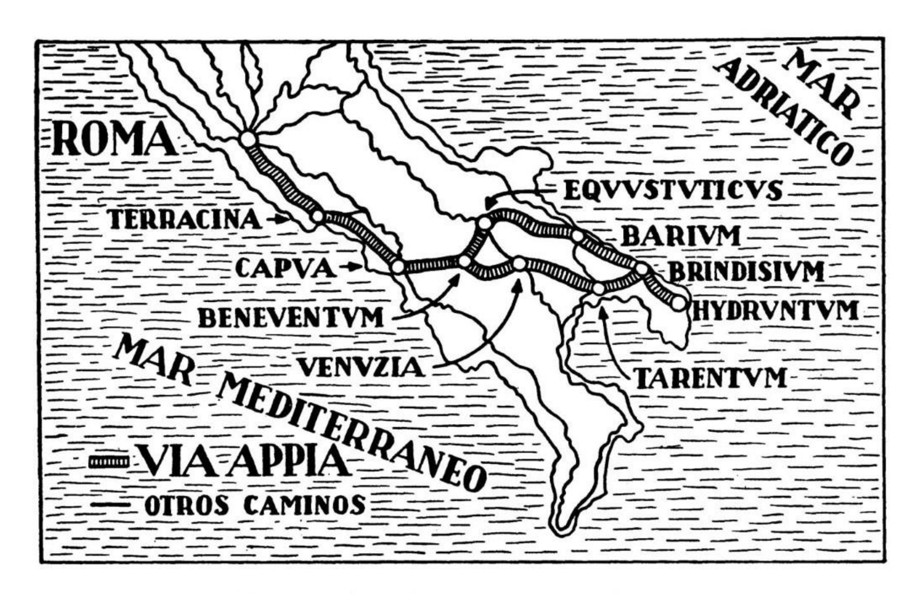


Figura 1.1 *Vía Appia, de Roma a Hidruntum*

Los incas, en el Perú, realizaron verdaderas obras de ingeniería, dada la accidentada topografía de su suelo, para construir caminos que, aunque no destinados al tránsito de vehículos, denotaban un movimiento importante. El imperio azteca, en México, pudo extenderse desde la costa del Golfo de México hasta la zona costera del Pacífico, gracias a rutas trazadas por los indígenas. Las crónicas españolas de la época de la conquista (1521) mencionan que la capital azteca estaba situada en una isla al centro de un lago y que grandes calzadas la comunicaban con tierra firme. Estas calzadas incluían puentes levadizos por la gran cantidad de barcas que cruzaban de un lado a otro.

1.2 EVOLUCION DEL TRANSPORTE

A través de los siglos se puede observar la evolución que ha tenido el tránsito a medida que también evolucionan, tanto el camino como el vehículo.

Durante los siglos I, II y III de nuestra era, el Imperio Romano fue factor dominante para la comunicación desde la Península Ibérica hasta China. Los siglos IV, V y VI ven la declinación del Imperio, la desaparición de la red caminera y el retorno a la bestia de carga. En el siglo VII el sistema feudal fuerza la reducción de la población y los viajes, y a mediados del siglo se abandona todo esfuerzo por conservar las rutas imperiales. Durante este siglo y el siguiente, el comercio vuelve a extenderse a través de rutas terrestres, precedido por la invasión de los vikingos, desde el norte, y de los sarracenos, desde el sur.

Hasta el siglo IX la economía feudal, las guerras civiles y las invasiones, incluyendo la de los turcos, contrarrestan los esfuerzos por extender el comercio y conservar las rutas terrestres. El siglo X, iniciación de la Edad Media, registra un incremento en la población, en el comercio y, como consecuencia, mayor tránsito, influido principalmente por los vikigos del norte, los mercaderes de Venecia y el renovado contacto con el Lejano Oriente. Las Cruzadas, que principian en el siglo XI, vienen a contribuir grandemente a la apertura de muchos caminos y al incremento de la población y los viajes.

En el siglo XII las ciudades crecen extraordinariamente, emergiendo muchas nuevas vinculadas en forma estrecha con el comercio; su trazo es básicamente el de calles angostas agrupadas según una cuadrícula geométrica. Dicho trazo, que algunos atribuyen a Hipodamo de Mileto, data de varios siglos antes de Cristo y se observa aún en las ruinas de algunas ciudades anteriores a la Era Cristiana. Las ciudades griegas de Asia se planearon como un tablero de ajedrez, introducida por primera vez en Mileto al ser reconstruida después de la derrota persa, en el año 479 A.C., por Hipodamo[3]. Durante el siglo XIII la población llega a un máximo, aumentando el tránsito en los mal conservados caminos. Los caballeros armados contribuyen a conservar los caminos abiertos al tránsito de cabalgaduras y los religiosos brindan amparo al viajero.

Excepto París y algunas ciudades italianas, poco se hace para mejorar las calles de la mayoría de las ciudades. En algunos casos se pavimentan las vías principales pero, en general, no existen programas para mejorarlas. En el siglo XIV el aumento del transporte y del tránsito llega a un máximo y, a la vez, se inicia una rápida reducción debido a la erosión social y económica que mina la cimentación de la sociedad feudal.

Hay varios factores que contribuyen a reducir el tránsito en los caminos, tales como la poca protección a los viajeros, la multiplicación de los asaltantes, la gran peste (1348-50) y la invasión de los turcos, en la parte sudoriental de Europa.

En el siglo XV, la población y el tránsito, restringidos hasta 1453 por la guerra de 100 años entre Inglaterra y Francia, empieza a resurgir. En el siguiente siglo la población de Europa se duplica y el tránsito se multiplica en razón directa, surgiendo los primeros mapas de caminos y reaparecen los vehículos, los cuales habían sido desplazados por el caballo y las bestias de carga; es decir, es hasta el siglo XVI cuando el vehículo vuelve a influir en la vida económica de Europa. A mediados de ese mismo siglo los conquistadores españoles inician la construcción de caminos en América como medio para extender su colonización y explotación de recursos en la Nueva España.

Durante este siglo y el XVII, a pesar de una falta de gobiernos centrales que se preocupen por los caminos, siguen haciéndose esfuerzos por mejorar algunos existentes y se multiplica el número de vehículos tirados por los animales. La industrialización de algunas regiones contribuye a aumentar el uso de los mismos. La carreta fue introducida en América durante el siglo XVI por el español Sebastián de Aparicio. El construyó la primera carretera del Nuevo Mundo, entre México y Veracruz, aproximadamente entre 1540 y 1550. Más tarde construyó la carretera México-Zacatecas, uno de cuyos puentes más antiguos se muestra en la fotografía de la figura 1.2, el cual está localizado a un kilómetro de la carretera entre San Juan del Río y Tequisquiapan, Querétaro, a unos 10 kilómetros de esta última población.

El siglo XVIII marca la iniciación de la Era Moderna. El tránsito se incrementa con grandes esfuerzos, debido al mal estado de los caminos. A su desarrollo contribuye enormemente la introducción del cobro de cuotas de peaje, que permiten la construcción y conservación de estos caminos. Esta práctica se hace común tanto en Europa como en las colonias americanas. En Estados Unidos el desarrollo de estos caminos influye grandemente en la expansión del territorio y, a la vez, en su fortalecimiento económico. En este siglo las diligencias dominan el tránsito, extendiendo bastante las zonas de influencia de la industria y el comercio.

El siglo XIX se inicia con un incremento inusitado de la población y la "Epoca de Oro" de las diligencias (1800-1830). También, desde principios del siglo, empieza a experimentarse con vehículos de autopropulsión, utilizando la fuerza del vapor. El ferrocarril de vapor inicia servicios comerciales en Inglaterra entre 1825 y 1830.

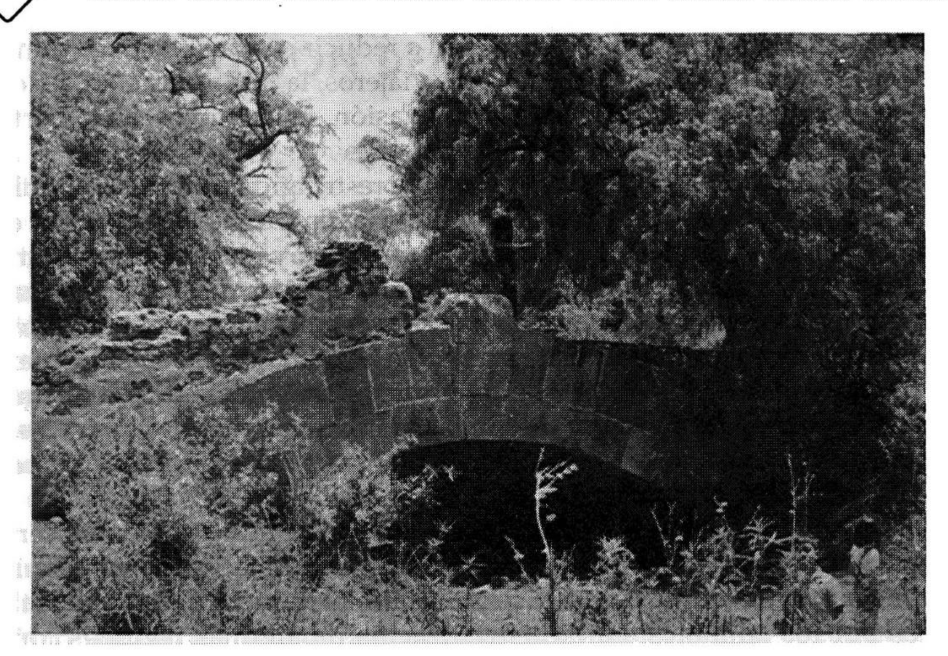


Figura 1.2 Puente antiguo en la ruta colonial México-Zacatecas, 1561

De 1837 a 1876 el ferrocarril progresa, se desarrolla y se coloca a la vanguardia de los medios de transporte, haciendo que los caminos queden relegados a un segundo término.

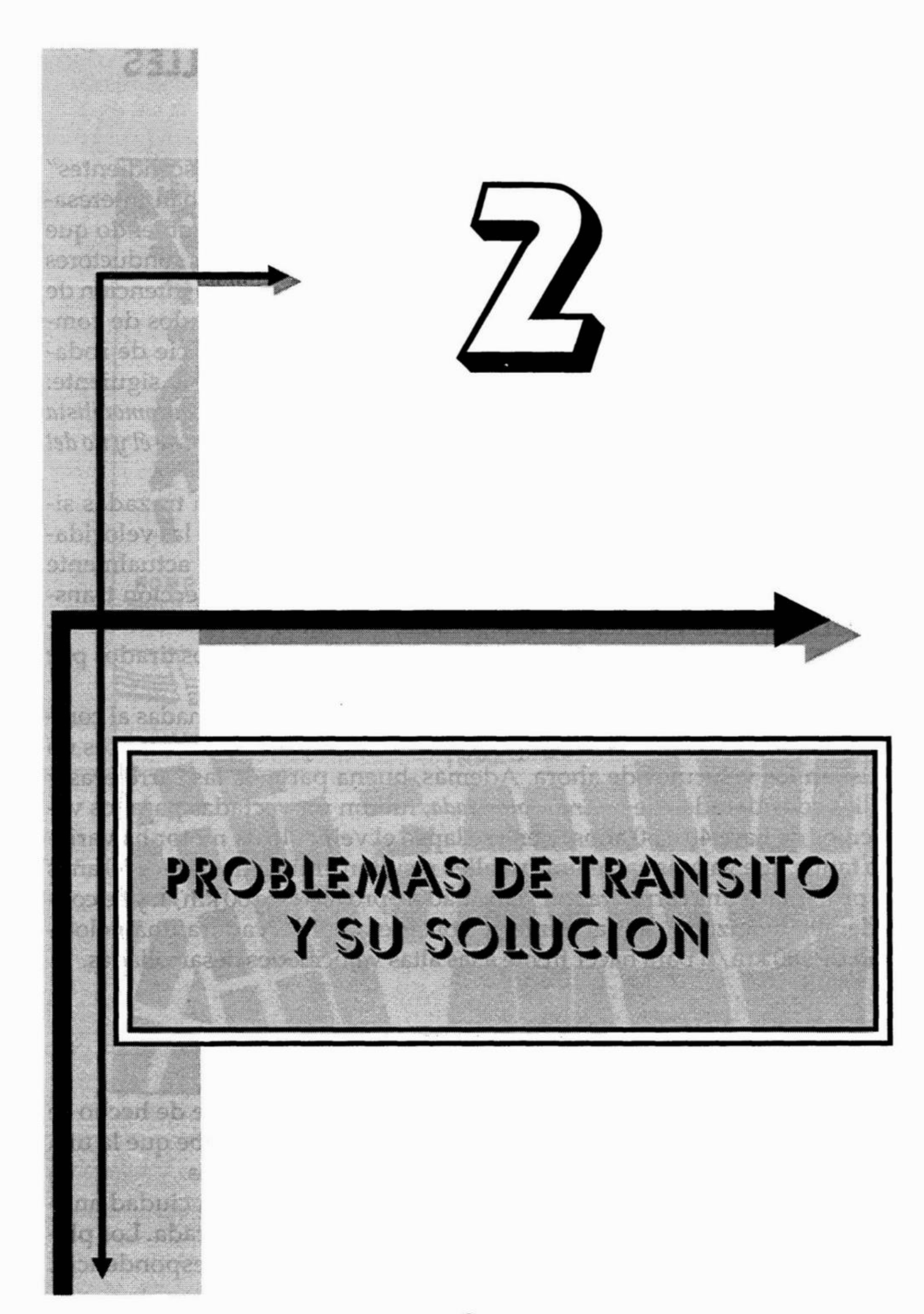
Con la aparición del vehículo de motor y por la tendencia a su uso privado, se fueron incrementando los problemas de tránsito urbano, debido a que paralelamente surgieron los vehículos de transporte público. Así, los sistemas de transporte férreo masivo, como transporte público, tuvieron sus orígenes en los tranvías, los cuales se desarrollaron en la segunda mitad del siglo XIX, inicialmente propulsados por animales y posteriormente con tracción mecánica, y para finales de ese mismo siglo ya operaban con fuerza eléctrica[4].

El tren subterráneo (metro) nació hace más de un siglo en Londres, Inglaterra, el 10 de enero de 1863, que en aquel entonces era la ciudad más poblada del mundo. En el periodo comprendido entre 1848 y 1873, la Gran Bretaña se convirtió en uno de los países de mayor libertad de comercio en toda Europa. Como reflejo de esa integración de mercados que produjeron rápidos aumentos de productividad, nuevas tecnologías de fabricación y desarrollo de la industria local, ciudades como Nueva York y Chicago, construyeron el tren subterráneo (metros) en los años 1867 y 1882, respectivamente[4].

Las últimas décadas del siglo XIX ven la aparición del automóvil con motor de gasolina y renace el deseo de conservar en buen estado los caminos que habían sido abandonados una vez más.

Puede afirmarse que el vehículo de motor de combustión interna en la forma que se conoce actualmente, forma parte y nació con el siglo XX. Al iniciar su vida y considerado como un artefacto de lujo y deporte, encontró serios obstáculos por los malos caminos y leyes anacrónicas, además de la natural oposición de las empresas y particulares habituados al ferrocarril y los carruajes tirados por animales, por lo que hubo de esperar para su florecimiento hasta principios del siglo XX.

Volviendo a lo que se dijo en un principio: aceptemos que el hombre apareció en la Tierra hace unos 100 000 años; que hasta hace sólo unos 10 000 años conoció la agricultura y que desde hace 6 000 años estableció los primeros centros de civilización. Si se imagina una línea recta en la que, a escala conveniente, se representen 100 000 años divididos en diez partes, habrá que hacer la primera marca donde empieza la décima división, del lado derecho, indicando 10 000 años, o sea la aparición de la agricultura. A corta distancia, a 6/100 del extremo derecho, se colocará otra marca para indicar 6 000 años del establecimiento de las primeras civilizaciones. A la mitad de la distancia entre la aparición de la agricultura y la época actual, es decir, a 5/100 del extremo derecho, se pondrá una raya indicando la aparición de la rueda, hace aproximadamente 5 000 años. Se sigue así y al final de la escala, en una fracción casi imperceptible como 8/10 000, se tendrá que marcar la aparición del vehículo de combustión interna tal como existe ahora . . . *hace tan sólo 80 y tantos años*. Por lo tanto, se puede concluir que el vehículo es un juguete novedoso que se acaba de incorporar a nuestra vida diaria.



2

PROBLEMAS DE TRANSITO Y SU SOLUCION

2.1 TRAZO DE LAS CARRETERAS Y CALLES EN USO

Los constructores contemporáneos de carreteras son "descendientes" y hechura de los ingenieros de ferrocarriles. Estos estaban interesados principalmente en tender una base para los rieles, sabiendo que el movimiento de trenes sería controlado con señales y que los conductores serían disciplinados en cuanto a la violación de las reglas. La intención de los primeros constructores de carreteras destinadas a vehículos de combustión interna, era la de proporcionar una buena superficie de rodamiento. La actitud de muchos de ellos, puede resumirse en lo siguiente: *nosotros les proporcionamos una carretera con superficie lisa; si el automovilista es lo suficientemente insensato para matarse uno al otro, eso es cosa de él y no del proyectista de la carretera.*

La mayoría de las carreteras y calles del mundo están trazadas siguiendo las rutas de las diligencias y es común observar que las velocidades de proyecto son superadas por las de los vehículos que actualmente las transitan. Sus características de curvatura, pendiente, sección transversal y capacidad de carga, corresponden, más bien, a un tránsito de vehículos lentos, pequeños y ligeros, como lo eran los vehículos tirados por animales y los primeros automóviles.

Muchas carreteras y calles actuales quedarían mal relacionadas al compararlas con los caminos del Imperio Romano . . . y en aquel entonces no existían los vehículos de ahora. Además, buena parte de las carreteras y calles consideradas de la *Era Motorizada*, fueron proyectadas para los vehículos de hace 40 ó 50 años, y en ese lapso el vehículo de motor ha variado tanto, que ya esas carreteras y calles resultan anticuadas. Hace 50 años se proyectaba una carretera con velocidad de proyecto de 60 km/h y se consideraba avanzada; actualmente se considera conservadora una velocidad de 100 km/h para hacer frente a las altas velocidades desarrolladas.

2.2 TRAZO URBANO ACTUAL

Considérese ahora el trazo de nuestras ciudades; no porque de hecho se haga una diferenciación entre carretera y calle, ya que se sabe que la una es continuación de la otra, sino por sus problemas especiales.

La actual conformación urbana corresponde a la de una ciudad antigua crecida; a un patrón de cuadrícula rectangular, multiplicada. Los planos de la figura 2.1 muestran esquemáticamente tal correspondencia,

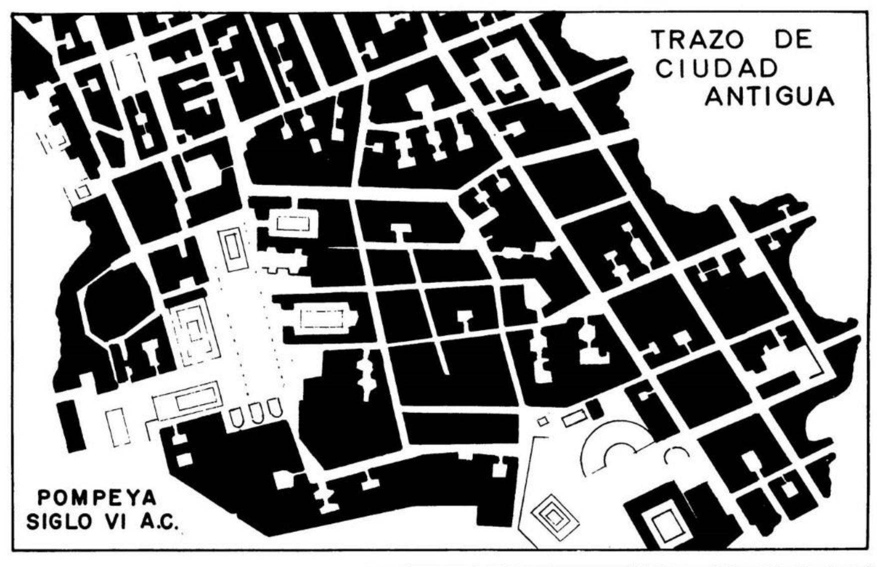




Figura 2.1 *Trazo de las ciudades antigua y actual*

entre el trazo de la ciudad antigua de Pompeya y el trazo actual de Ciudad Juárez, México. Este trazo es el que data de cientos de años antes de la Era Cristiana, cuando sólo había vehículos tirados por animales y cabalgaduras. Hoy, se insiste en cometer el error de conservar las calles angostas, el trazo rectangular, trazo . . . para cabalgaduras, no para la *Era Motorizada*.

Casi todo intento de reforma urbanística ha sido derrotado por intereses creados y ceguera de particulares y autoridades. Pero además de eso, cuando se han proyectado nuevas ciudades o nuevas secciones urbanas, especialmente en el Nuevo Mundo, no se ha dudado mucho en concebirlas . . . ¡sobre la misma base de la cuadrícula rectangular! En cualquiera de las ciudades del mundo, el vehículo moderno es anacrónico . . . no cabe . . . está *fuera de escala*.

2.3 PROGRESO DEL VEHICULO DE MOTOR

En 1875, *Siegfred Marcus* (1831-1898) en Viena, conduce un automóvil de gasolina.[2] En 1876, *Nicolás A. Otto*, de Alemania, desarrolla la idea de comprimir el combustible en forma de gas, antes de la explosión. Su proyecto básico del motor de cuatro tiempos tiene actualmente uso mundial. En 1878, se registró en Estados Unidos la primera patente para un motor de gasolina. En 1887, *Gottlieb Daimler*, en Alemania, fabrica su primer automóvil. En 1888 la *Connelly Motor Company*, de Nueva York, puso en venta sus productos, siguiéndole los automóviles *Daimler* y *Duryea* en 1891 y 1892.[5] En 1894 se corre la primera carrera automovilística entre París y Rouen, Francia. En 1895 se celebró la carrera de 100 millas entre Chicago y Libertyville, EE. UU., ganando Duryea con velocidad promedio de 13 km/h. En ese año existían en Estados Unidos tan sólo 4 vehículos;[5] en 1896 habían ya 16 automóviles; en 1900 llegó a 8 000 y para 1910 el número se había elevado a 468 500 vehículos.

En 1898 entró a México el primer automóvil.[6] El auto era francés, marca *Delaunay Belleville*, hecho a mano en las fábricas de Curvier, en Tolón. De 3 que llegaron ese año a la población de El Paso, Texas, éste fue adquirido por el millonario Manuel Cuesta y llevado a Guadalajara. El que lo condujo, Andrés Sierra González, lo registró como el automóvil número 1, en Monterrey, N.L. el mismo año.

Cabe hacer notar la enorme influencia que tuvo la Primera Guerra Mundial en el desarrollo del vehículo de combustión interna. Fue notable la ventaja que militares y civiles observaron en el vehículo automotor, por lo que se dio rienda suelta a la producción.

El impacto que recibió este medio de transporte puede verse claramente en el incremento tan extraordinario que ha tenido el número de vehículos a través de los años, según lo muestra la tabla 2.1, considerando el total de vehículos, que incluye automóviles, autobuses y camiones.

Tabla 2.1 Aumento de vehículos a través de los años (automóviles + autobuses + camiones)

Años	México	Estados Unidos	Total en el Mundo
1895	—	4	—
1896	—	16	—
1897	—	90	—
1898	1	800	—
1899	—	32 00	—
1900	—	8 000	—
1910	—	468 500	—
1920	—	9 239 161	—
1924	42 858	17 612 940	—
1930	87 665	26 531 999	—
1940	145 708	32 453 233	45 422 411
1950	302 798	49 161 691	63 200 500
1960	802 630	73 901 500	121 541 265
1970	1 773 868	105 096 603	226 167 572
1979	5 683 484	148 778 235	364 443 491
1989	7 795 000	183 468 000	536 278 520

FUENTE:
Institute of Traffic Engineers, *Traffic Engineering Handbook*, New Haven, Conn., 1950.
Rojas González, Guillermo, *"Coloril"*, Periódico *"Policía"*, 1955.
Automóvil Internacional, *"Censo Mundial de Automotores"*, 1989.

Como puede observarse en la tabla anterior, en 1898 se registraba el primer vehículo en México, mientras que en Estados Unidos ya se contaba con 800 vehículos. A partir de 1940 se tienen registros comparativos con el total en el mundo, marcando en este año para México 145 708 vehículos, para Estados Unidos 32 453 233 y para todo el mundo 45 422 411. Ya en el año 1989, se registraron en el mundo un total de 536 278 520 vehículos, correspondiéndole a México 7 795 000 (el 1.45 %) y a Estados Unidos 183 468 000 vehículos (el 34.21 %).

Durante los últimos 80 años, prácticamente desde 1910, el vehículo de motor por su incremento vertiginoso ha experimentado cambios extraordinarios. Inició su vida siendo un artefacto de lujo y deporte, al que no se le daba mayor importancia; del que nadie imaginaba que llegaría a influir tanto en la economía del transporte.

Los cambios principales que ha sufrido el vehículo de motor son básicamente los de su potencia, velocidad y comodidad. A través de ese periodo, la potencia del motor de gasolina se ha incrementado en una relación aproximada de 1 a 10. Naturalmente, aunada a esta potencia, el vehículo ha adquirido mayor capacidad de carga. En la actualidad un gran porcentaje de ésta es movida en camiones y una proporción importante de pasajeros son transportados en autobuses y automóviles. La velocidad de estos vehículos también ha variado extraordinariamente. Si se recuerda que en 1895 la carrera automovilística entre Chicago y Libertyville fue ganada con un promedio de velocidad de 13 kilómetros por hora, se verá el cambio si se la compara con el promedio de velocidad de los ganadores de este tipo de justas deportivas en los últimos tiempos, con 200 y 300 kilómetros por hora. Tan sólo considerando las velocidades que desarrollan los modernos automóviles catalogados estándar, se ve que sus viajes normales pueden realizarse a la velocidad de 100 kilómetros por hora, cuando no hay limitaciones por parte de la carretera.

En comodidad, los vehículos han evolucionado para convertirse de un vehículo frágil, ruidoso, humeante y saltarín, en una prolongación del sofá del hogar en el que, cómodamente sentado, sin ruidos y sin fatiga, el usuario recorre cientos de kilómetros en una jornada.

Y finalmente, se puede decir que el vehículo no solamente ha llegado al grado de las altas velocidades conocidas actualmente y de la enorme potencia de su motor, sino que ese cambio se sigue sucediendo año con año y no se ve fin a su interminable evolución.

2.4 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROBLEMA DEL TRANSITO

Las ciudades dependen grandemente de sus sistemas de calles, ofreciendo servicios de transporte. Muchas veces, estos sistemas tienen que operar por arriba de su capacidad, con el fin de satisfacer los incrementos de demanda por servicios de transporte, ya sea para tránsito de vehículos livianos, tránsito comercial, transporte público, acceso a las distintas propiedades o estacionamientos, etc., originando obviamente problemas de

tránsito, cuya severidad por lo general se puede medir en términos de accidentes y congestionamiento.

A pesar de que en los últimos tiempos con los avances tecnológicos se han logrado proyectar y construir sistemas viales más acordes con los vehículos que los utilizan, al igual que diseños urbanos modernistas, los problemas de tránsito en muchos lugares aún persisten. A continuación se enuncian cinco factores que podrían incrementar estos problemas y que deben ser tomados en cuenta en cualquier intento de solucionarlos:

1. ***Diferentes tipos de vehículos en la misma vialidad***
   - Diferentes dimensiones, velocidades y características de aceleración.
   - Automóviles diversos.
   - Camiones y autobuses, de alta velocidad.
   - Camiones pesados, de baja velocidad, incluyendo remolques.
   - Vehículos tirados por animales, que aún subsisten en algunos países.
   - Motocicletas, bicicletas, vehículos de mano, etc.

2. ***Superposición del tránsito motorizado en vialidades inadecuadas***
   - Relativamente pocos cambios en el trazo urbano.
   - Calles angostas, torcidas y pronunciadas pendientes.
   - Aceras insuficientes.
   - Carreteras que no han evolucionado.

3. ***Falta de planificación en el tránsito***
   - Calles, carreteras y puentes que se siguen construyendo con especificaciones anticuadas.
   - Intersecciones proyectadas sin base técnica.
   - Previsión casi nula para estacionamiento.
   - Localización inapropiada de zonas residenciales en relación con zonas industriales o comerciales.

4. ***El automóvil no considerado como una necesidad pública***
   - Falta de apreciación de las autoridades sobre la necesidad del vehículo dentro de la economía del transporte.
   - Falta de apreciación del público en general a la importancia del vehículo automotor.

5. *Falta de asimilación por parte del gobierno y del usuario*

   - Legislación y reglamentos del tránsito anacrónicos que tienden más a forzar al usuario de los mismos, que adaptarse a las necesidades del usuario.
   - Falta de educación vial del conductor y del peatón.

2.5 TIPOS DE SOLUCION

Si el problema del tránsito causa pérdida de vidas y bienes, o sea que equivale a una situación de falta de seguridad para las personas y de ineficiencia económica del transporte, la solución, lógicamente, se obtendrá haciendo el tránsito seguro y eficiente.

Hay tres tipos de solución que se pueden dar al problema del tránsito:

1. *Solución integral*

   Si el problema es causado por un vehículo moderno sobre carreteras y calles antiguas, la solución integral consistirá en construir nuevos tipos de vialidades que sirvan a este vehículo, dentro de la previsión posible. Se necesitará crear ciudades con trazo nuevo, revolucionario, con calles destinadas a alojar al vehículo moderno, con todas las características inherentes al mismo.

   La figura 2.2 ilustra en forma esquemática el trazo propuesto para nuevas ciudades, el cual se inspira en los sistemas circulatorios de la naturaleza, como el de la sangre en el hombre, el de los ríos y el de las plantas. En este proyecto se busca el equilibrio de la oferta y la demanda con el trazo de arterias troncales con control de accesos para facilitar el viaje al centroide, con calles secundarias que drenan las zonas de habitación y trabajo hacia el lógico desfogue que las lleve a las zonas centroidales.

   Esta solución es casi imposible de aplicar en las ciudades actuales, ya que se necesitaría empezar por barrer con todo lo existente. Las carreteras y calles actuales tendrían que ser sustituidas por otras cuya velocidad de proyecto fuese, por ejemplo, de 130 kilómetros por hora o más.

2. *Solución parcial de alto costo*

   Esta solución equivale a sacar el mejor partido posible de lo que actualmente se tiene, con ciertos cambios necesarios que requieren fuer-

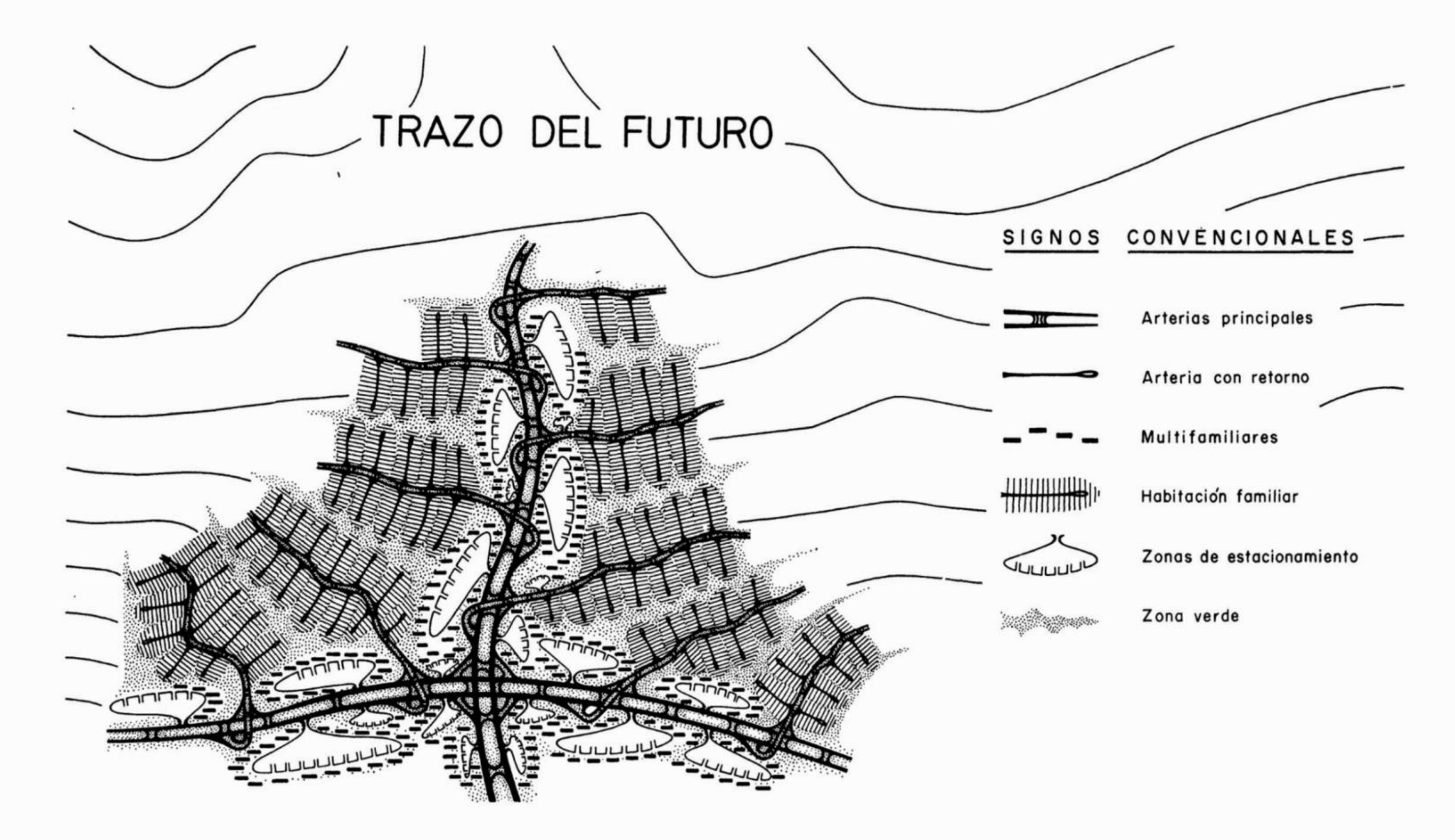


Figura 2.2 *Trazo propuesto para nuevas ciudades*

tes inversiones. Los casos críticos, como calles angostas, cruceros peligrosos, obstrucciones naturales, capacidad restringida, falta de control en la circulación, etc., pueden atacarse mediante la inversión necesaria que es, siempre, muy elevada. Entre las medidas que pueden tomarse están: el ensanchamiento de calles, modificación de intersecciones rotatorias, creación de intersecciones canalizadas, sistemas de control automático con semáforos, estacionamientos públicos y privados, etc.
Las fotografías de la figura 2.3 ilustran tipos de soluciones parciales de alto costo.

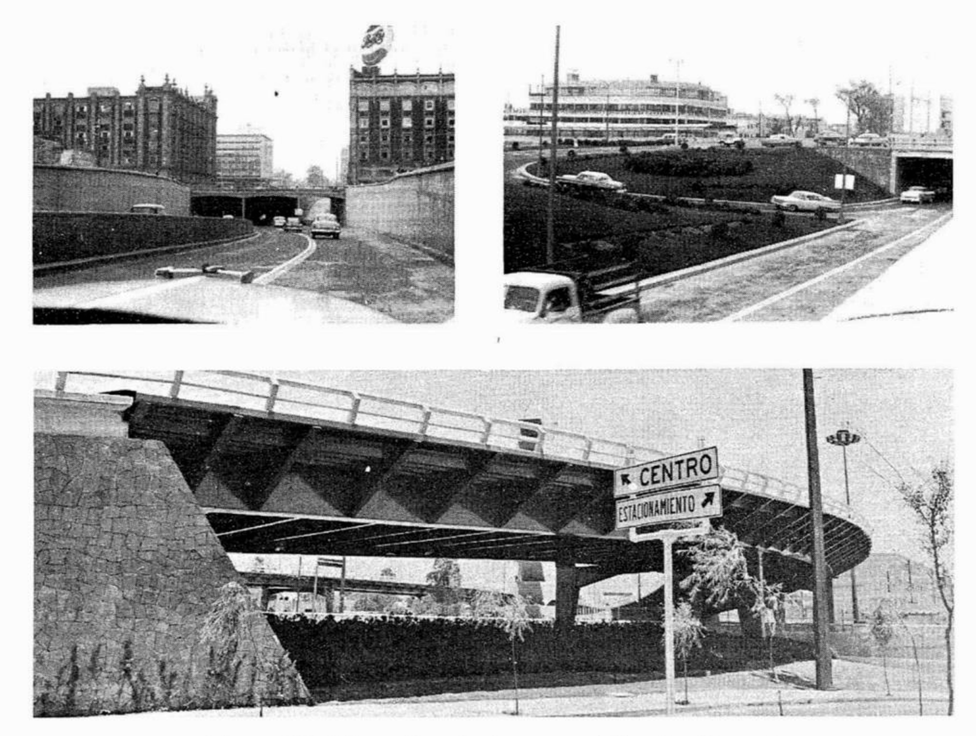


Figura 2.3 *Tipos de soluciones parciales de alto costo*

3. *Solución parcial de bajo costo*

Consiste en el aprovechamiento máximo de las condiciones existentes, con el mínimo de obra material y el máximo en cuanto a regulación funcional del tránsito, a través de técnica depurada, así como disciplina y educación por parte del usuario. Incluye, entre otras co-

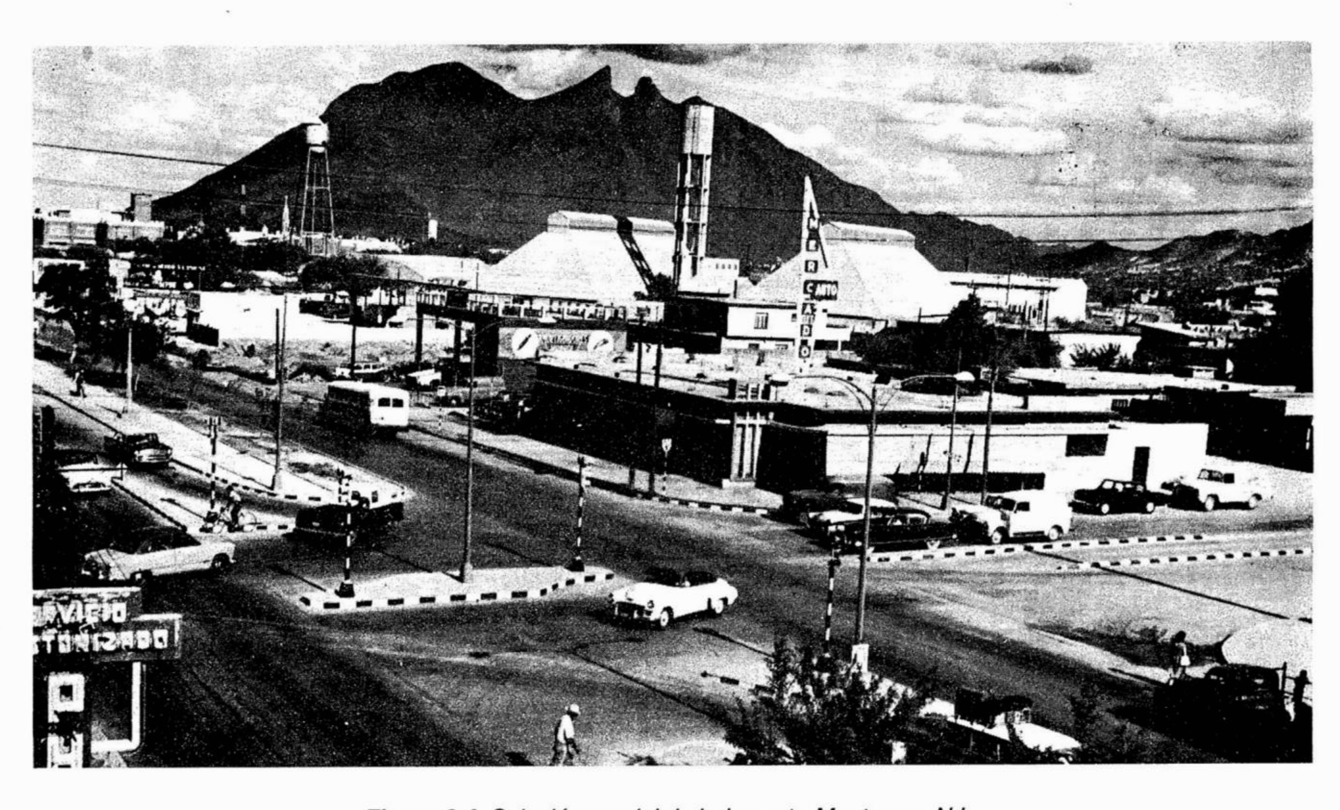


Figura 2.4 *Solución parcial de bajo costo-Monterrey, N.L.*

sas, la legislación y reglamentación adaptadas a las necesidades del tránsito; las medidas necesarias de educación vial; el sistema de calles con circulación en un sentido; el estacionamiento de tiempo limitado; el proyecto específico y apropiado de señales de tránsito y semáforos; la canalización del tránsito a bajo costo; las facilidades para la construcción de terminales y estacionamientos; etc.

La figura 2.4 muestra una solución parcial de bajo costo, es uno de los primeros trabajos de canalización e instalación de semáforos implementados en 1960 en la ciudad de Monterrey, N.L. Obsérvense los carriles protegidos para vueltas a la izquierda.

2.6 BASES PARA UNA SOLUCION

De cualquier manera, la experiencia demuestra que en determinado tipo de solución deberán existir tres bases en que se apoye la misma. Son los tres elementos que, trabajando simultáneamente, van a dar lo que se quiere: un tránsito seguro y eficiente.

Estos tres elementos son:

1. ***La ingeniería de tránsito***
2. ***La educación vial***
3. ***La legislación y vigilancia policiaca***

Aquel medio en el que falta alguno de estos tres elementos, también llamados columnas del *Templo de la Seguridad*, no tendrá un tránsito exento de accidentes y de congestionamientos. Es necesario que, cualquiera que sea el tipo de solución que se adopte, tome en cuenta estas tres herramientas indispensables. Es esencial que un técnico especializado en ingeniería de tránsito resuelva los problemas del proyecto físico de la carretera o calle con todos sus detalles; que las instituciones educativas y el gobierno tomen por su cuenta la preparación del individuo para la era motorizada en que vive y, finalmente, que las autoridades sepan crear leyes y reglamentos adaptados a las necesidades del tránsito moderno y que las hagan cumplir por medio de agentes de tránsito especialmente preparados para tal fin.

Las fotografías de la figura 2.5 enseñan los tres elementos bases para una solución: la superior *la ingeniería de tránsito*, la del medio *la educación vial* y la inferior *la legislación y vigilancia policiaca.*

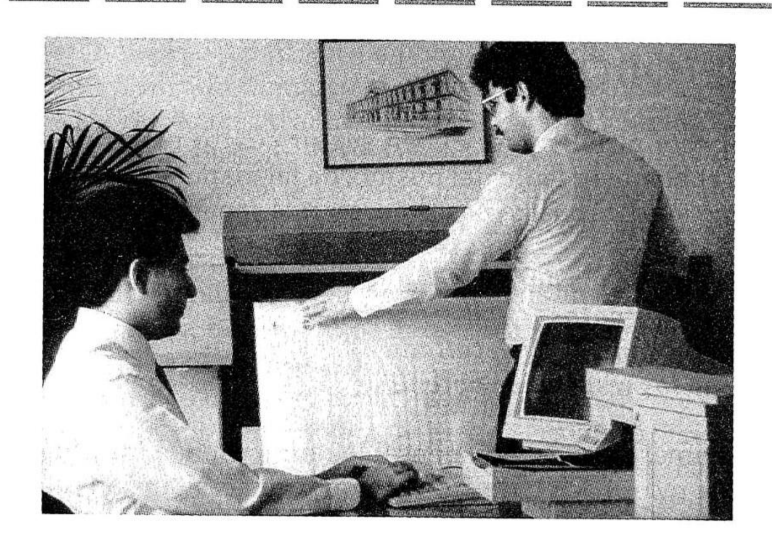






Figura 2.5 *Los tres elementos bases para una solución al problema del tránsito: la ingeniería de tránsito, la educación vial y la legislación y vigilancia policiaca*

2.7 METODOLOGIA

Para atacar este problema se deben seguir cuatro pasos sucesivos que permitirán el planteamiento del mismo, de tal manera que la solución sea lógica y práctica. Los cuatro pasos necesarios son los siguientes:

1. *Recopilación de los datos*
2. *Análisis de los datos*
3. *Proposición concreta y detallada*
4. *Estudio de los resultados obtenidos*

Como primer paso es indispensable reunir toda la información necesaria. En esta recopilación de datos, lo que se necesitan son precisamente las estadísticas, los informes oficiales y los hechos veraces. No es suficientemente útil conocer la opinión del amigo o del comerciante de la esquina; se necesitan datos estadísticos obtenidos oficialmente, en el lugar de los accidentes u obtenidos de fuentes de información dignas de crédito.

Segundo, para el análisis de estos datos se necesita una mente entrenada que pueda dar una interpretación real a los mismos. De estos análisis se desprende una parte muy importante de la solución y sólo un especialista en la materia deberá llevarlo a cabo.

Después del análisis, el encargado de resolver el problema deberá presentar un proyecto de solución, cubriendo los tres elementos básicos. Incluyendo el aspecto físico, adaptado a las características del vehículo y del usuario, conteniendo las modalidades necesarias en cuanto a educación vial, así como las reformas y sistemas legislativos y policiacos, que permitan impartir la solución.

Finalmente, es conveniente observar, durante cierto periodo posterior, el resultado que tuvo la solución aplicada. Este resultado se observará directamente a través de las estadísticas levantadas en cuanto a la eficiencia del movimiento vehicular y de peatones, así como en cuanto a la disminución o aumento de accidentes. Es posible que muchas soluciones requieran una revisión y perfeccionamiento, por lo que este último paso es de gran importancia.

2.8 ESPECIALIZACION

¿Pero, quién es ese técnico especializado que se encargará de enfrentarse a este problema; de saber qué datos buscar; de poder analizarlos y, finalmente, encontrar una solución atinada? Definitivamente no lo ha sido

el Ingeniero Civil, preocupado principalmente por la parte estructural de sus obras, ni lo han sido tampoco el Arquitecto, ni el Urbanista, ni el Ingeniero de Vías Terrestres, ni el Ingeniero Municipal. Como consecuencia del mismo problema, ha surgido una nueva especialización de la ingeniería; aquella a la que concierne específicamente el aspecto funcional de la vialidad, la que tiene que ver con el movimiento de vehículos y peatones, es la *Ingeniería de Tránsito*.

Desafortunadamente, los técnicos preparados en esta materia son muy contados y sólo hasta hace algunos años las instituciones educacionales de algunos países se han empezado a preocupar por formarlos.

Es el *Ingeniero de Tránsito* el capacitado específicamente para recolectar y analizar los datos del problema y buscar la solución más adecuada; es el que llevará la responsabilidad de ahora en adelante. He ahí su reto.

La administración de las funciones de gobierno con respecto al tránsito de vehículos es una parte importante del arte de gobernar. El objetivo en la administración del tránsito es mantener la red vial en operación; hacer posible que se muevan las personas y los vehículos y permitir que todo el que quiera se traslade y efectúe sus actividades en forma eficiente. Muchos administradores públicos reconocen ya la necesidad de aplicar la Ingeniería de Tránsito; muchos se dan cuenta que la necesitan pero no saben cómo, o no pueden conseguirla. Otros, no saben aún qué es y no se imaginan cómo puede servirles. Sobre todo se manifiesta la necesidad de esta nueva tecnología en aquellas redes viales, urbanas o rurales, donde los volúmenes de tránsito han crecido y se tienen problemas de accidentes y congestionamientos. Las dos principales razones por las que no todos los países han incorporado un tratamiento técnico a sus problemas de tránsito y transportes son la falta de conocimientos sobre la materia y la falta de medios económicos.

Los ingenieros de tránsito han podido demostrar la conveniencia de emplear simultáneamente la vigilancia, la educación y la ingeniería de tránsito en el logro de la meta de un tránsito seguro y eficiente. Ellos han obtenido la debida evaluación de la ingeniería de tránsito como uno de los elementos indispensables para ese fin. Muchos años de experiencias, de pruebas y errores han eliminado toda duda de que el tratamiento al problema del tránsito requiere de la ingeniería tanto como de la vigilancia y de la educación, y que si no la aplicamos nuestro programa estará incompleto.

La mejor manera de utilizar la ingeniería de tránsito consiste en estructurar planes adecuados, prácticos y bien meditados para mejorar la seguridad y la fluidez del tránsito, sobre todo en áreas críticas. Especialmente es necesaria la aplicación de la ingeniería de tránsito en los

grandes proyectos de vialidad, cuando se trata de construir sistemas arteriales de altas especificaciones, como autopistas urbanas. Pero también es indispensable para lograr abatir la incidencia de accidentes en un crucero conflictivo o en una arteria peligrosa. Por lo general, ya no bastan las medidas educativas o policiacas, pues en muchos casos se requiere ya de una remodelación física del crucero, o de la utilización óptima de dispositivos de control. La canalización mediante isletas, la supresión de obstáculos, u obras mayores, como pasos a desnivel, requieren de la más avanzada ingeniería de tránsito. La instalación de semáforos y señales y la programación de aquéllos, respondiendo a las necesidades y a las características específicas del lugar, requieren de la técnica especializada.

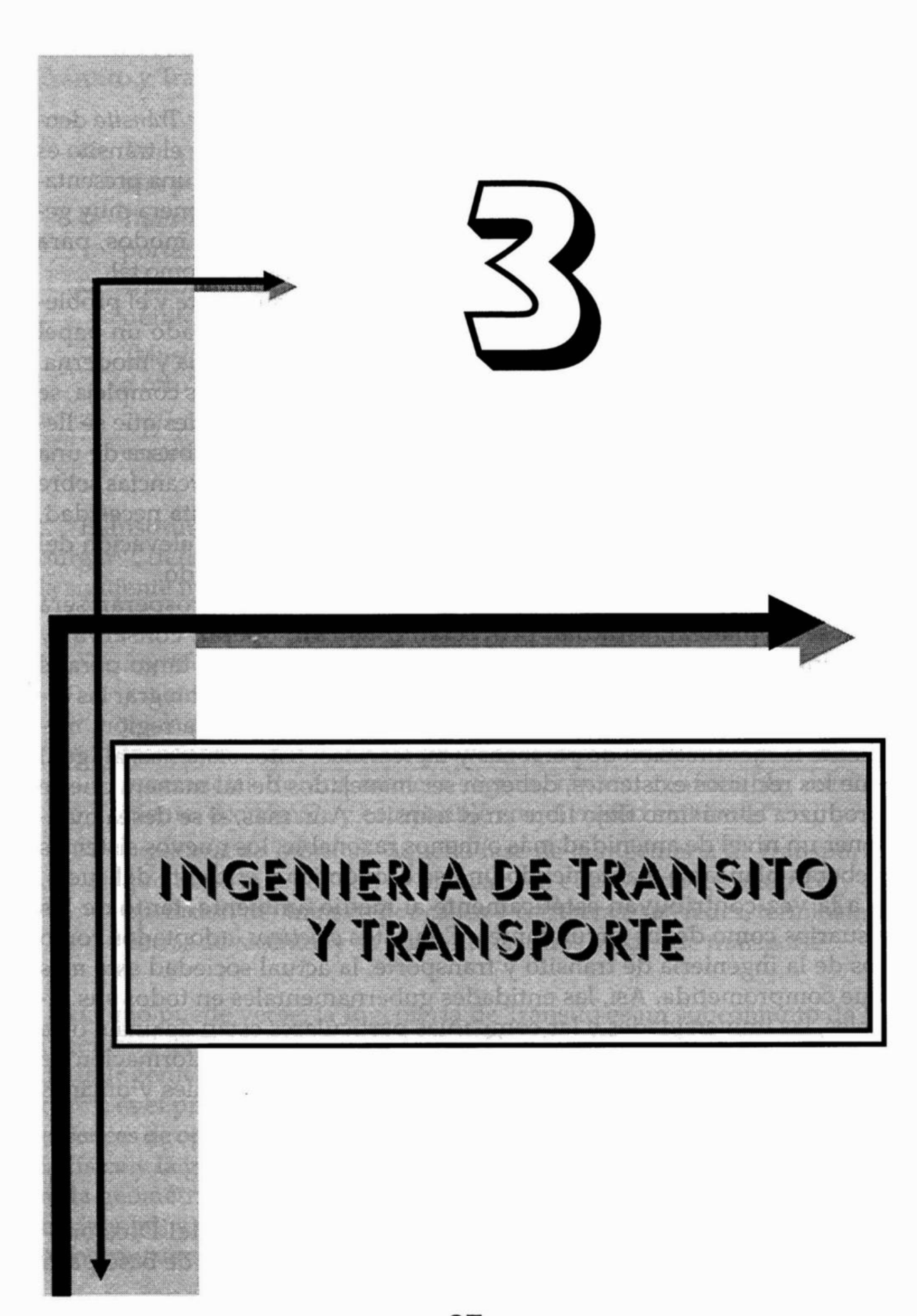
En los países desarrollados, los nuevos dispositivos de control fueron introducidos, desde la simple señal de ALTO y los primeros semáforos manuales, empezaron a ordenar el movimiento de los vehículos en los centros urbanos. Conforme el tránsito se volvía más complicado, aumentó el interés por mejorar la red vial y los dispositivos de control. No solamente se logró mantener en movimiento la ciudad y los sistemas de carreteras, sino que el tránsito se hizo más ordenado y menos riesgoso. Al organizarse las dependencias como Direcciones, Departamentos o Comisiones de Tránsito, con estructura técnica y no policiaca, se dio un gran paso hacia adelante. Si bien es cierto que las oficinas técnicas originalmente estuvieron ubicadas en la organización policiaca, pronto se hizo necesario separarlas, ya que sus funciones, aunque complementarias, son distintas.

Una parte fundamental de las aplicaciones de la ingeniería a los problemas de la circulación, es el beneficio en vidas y bienes ahorrados, además de las importantes ganancias económicas. En esto último no solamente cuentan las horas-hombre ahorradas al suprimir el nudo vial o al construir una vía alterna de alivio, sino los ingresos que produce la organización mecanizada y racional del control de vehículos y de conductores; la aplicación estricta de un reglamento enfocado a aumentar la seguridad y los ingresos producidos por estacionamientos y parquímetros de la ciudad.

Toda Dirección de Ingeniería de Tránsito ha tenido un comienzo modesto y difícil. Unos comenzaron con un pequeño taller de semáforos y señales; otros empezaron con un equipo humano lleno de deseos de trabajar y muy poco presupuesto. En cambio, otros han empezado con un solo ingeniero, quizás ayudado por una secretaria y un dibujante. Las funciones básicas que han sido cubiertas por estos departamentos especializados son, principalmente: planeación, recopilación de datos, análisis y evaluaciones, proyectos, dispositivos de control, estacionamientos,

transporte público, obras por contrato y talleres. Se empezó con modestos estudios de volúmenes de tránsito, de estacionamiento y de semáforos. Con la instalación de los primeros dispositivos de control, se creó la necesidad de una oficina o grupo de personas que se hiciera cargo de ellos. Posteriormente se le dio a esa entidad otra jerarquía mayor, y así fueron creciendo. Ahora, muchas de esas oficinas, de origen modesto, tienen un rango semejante a las Direcciones de Obras Públicas, de Planificación y de Seguridad Pública.

La aceptación que ha tenido la Ingeniería de Tránsito a través de los resultados obtenidos en múltiples aplicaciones y, el alarmante saldo adverso que se presenta por pérdidas de vida y bienes en la vialidad justifican, con creces, la atención que se le dé a esta nueva tecnología.


3
INGENIERIA DE TRANSITO
Y TRANSPORTE

3.1 GENERALIDADES

Este capítulo tiene como propósito ubicar la *Ingeniería de Tránsito* dentro del contexto de la *Ingeniería de Transporte*, puesto que el tránsito es una fase o parte del transporte. No se trata de realizar una presentación exhaustiva del transporte, pero sí conceptuar de una manera muy general y clara sobre su estructura básica y sus sistemas y modos, para finalmente arribar a los alcances de la ingeniería de tránsito como tal.

Los dos capítulos anteriores, antecedentes del transporte y el problema del tránsito, certifican que el transporte ha desempeñado un papel muy importante en el desarrollo de las civilizaciones antigua y moderna. En la medida en que la sociedad se ha venido tornando más compleja, se ha incrementado la *necesidad* de unir las distintas actividades que se llevan a cabo en lugares separados –orígenes y destinos– en busca de una *utilidad* o *beneficio*, mediante el transporte de personas y mercancías sobre diversos medios de comunicación. El éxito en satisfacer esta necesidad, ha sido y será uno de los principales contribuyentes en la elevación del nivel de vida de las sociedades de todos los países del mundo.

Si determinada área, urbana o rural, desea crecer y prosperar, será necesario planear, estudiar, proyectar, construir, operar, conservar y administrar nuevos sistemas lo suficientemente amplios, tanto para el transporte público como privado, que permitan conectar e integrar las actividades que se desarrollan en los diferentes lugares de la región, mediante la movilización de personas y mercancías. Estos sistemas, al igual que los recursos existentes, deberán ser manejados de tal manera que se produzca el máximo flujo libre en el tránsito. Aún más, si se desea mantener un nivel de amenidad más o menos razonable, los nuevos sistemas deberán planearse manteniendo un uso económico y eficiente del suelo, y a la vez contribuyan estéticamente al medio ambiente, tanto de los usuarios como de los circundantes. Con estos *objetivos*, adoptados como los de la ingeniería de tránsito y transporte, la actual sociedad está más que comprometida. Así, las entidades gubernamentales en todos sus niveles, las universidades y las compañías particulares están de una u otra manera respondiendo a estas necesidades, mediante la conformación de autoridades apropiadas, grupos de planeación, profesionales y oficinas de estudios e investigación.

3.2 DEFINICIONES

Las cinco definiciones siguientes, que se han tomado del Diccionario de la Lengua de la Real Academia Española[7], sirven de base para

entender el concepto tanto técnico como científico de la Ingeniería de Tránsito y Transporte:

- *Transportar:* "llevar una cosa de un paraje o lugar a otro. Llevar de una parte a otra por el porte o precio convenido".
- *Transporte o transportación:* "acción y efecto de transportar o transportarse".
- *Transitar:* "ir o pasar de un punto a otro por vías, calles o parajes públicos".
- *Tránsito:* "acción de transitar. Sitio por donde se pasa de un lugar a otro".
- *Tráfico:* "tránsito de personas y circulación de vehículos por calles, carreteras, caminos, etc.".

El Instituto de Ingenieros de Transporte, ITE[8], citado por W. S. Homburger[9], define la Ingeniería de Transporte y la Ingeniería de Tránsito de la siguiente manera:

- *Ingeniería de Transporte:* "aplicación de los principios tecnológicos y científicos a la planeación, al proyecto funcional, a la operación y a la administración de las diversas partes de cualquier modo de transporte, con el fin de proveer la movilización de personas y mercancías de una manera segura, rápida, confortable, conveniente, económica y compatible con el medio ambiente".
- *Ingeniería de Tránsito:* "aquella fase de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte".

Como puede verse, la Ingeniería de Tránsito es un subconjunto de la Ingeniería de Transporte, y a su vez el Proyecto Geométrico es una etapa de la Ingeniería de Tránsito. El *Proyecto Geométrico* de calles y carreteras[10], es el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En este sentido, una calle o carretera queda definida geométricamente por el proyecto de su eje en planta (alineamiento horizontal) y en perfil (alineamiento vertical), y por el proyecto de su sección transversal.

3.3 SISTEMA DE TRANSPORTE

3.3.1 ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

Según M. L. Manheim[11], el *análisis de sistemas de transporte* debe apoyarse en las dos premisas básicas siguientes:

- El sistema global de transporte de una región debe ser visto como un sistema multimodal simple.
- El análisis del sistema de transporte no puede separarse del análisis del sistema social, económico y político de la región.

Por lo tanto, en el análisis del *sistema global de transporte*, se deben considerar:

- Todos los modos de transporte.
- Todos los elementos del sistema de transporte: las personas y mercancías a ser transportadas; los vehículos en que son transportados; la red de infraestructura sobre la cual son movilizados los vehículos, los pasajeros y la carga, incluyendo las terminales y los puntos de transferencia.
- Todos los movimientos a través del sistema, incluyendo los flujos de pasajeros y mercancías desde todos los orígenes hasta todos los destinos.
- El viaje total, desde el punto de origen hasta el de su destino, en todos los modos y medios, para cada flujo específico.

El sistema de transporte de una región está estrechamente relacionado con su sistema socioeconómico. En efecto, el sistema de transporte usualmente afecta la manera como los sistemas socioeconómicos crecen y cambian y, a su vez, las variaciones en los sistemas socioeconómicos generan cambios en el sistema de transporte.

En la figura 3.1, se ilustra esta relación con base en tres variables básicas:

- El sistema de *transporte T*.
- El sistema de *actividades A*, esto es, el patrón de actividades sociales y económicas que se desarrollan en la región.
- La estructura de *flujos F*, esto es, los orígenes, destinos, rutas y volúmenes de personas y carga que se mueven a través del sistema.

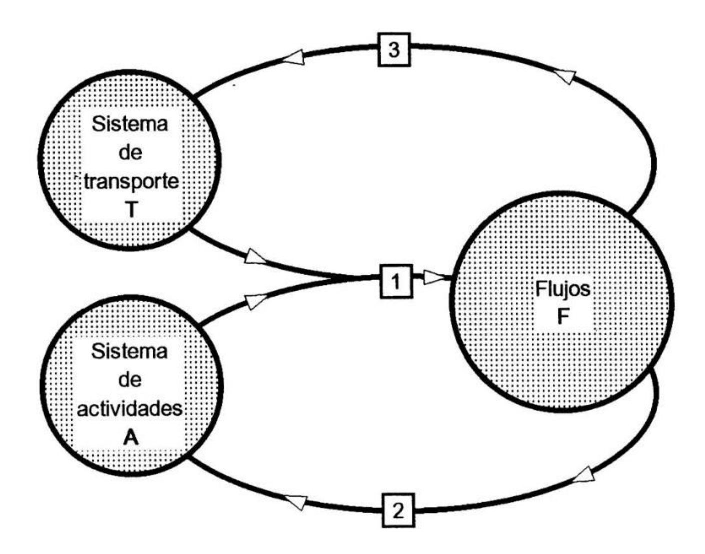


Figura 3.1 *Relación entre el sistema de transporte, el sistema de actividades y los flujos (Fuente: Fundamentals of Transportation Systems Analysis, Volume 1: Basic Concepts, de Marvin L. Manheim)*

En el diagrama se pueden identificar tres clases de relaciones entre las tres variables: la *relación 1* indica que los flujos *F* que se presentan en el sistema son el producto de las interacciones entre el sistema de transporte *T* y el sistema de actividades *A*. La *relación 2* señala que los flujos *F* causan cambios en el sistema de actividades *A* en el largo plazo, a través del patrón de servicios ofrecido y de los recursos consumidos en proveerlos. Y la *relación 3* advierte que los flujos *F* observados en el tiempo generan cambios en el sistema de transporte *T*, obligando a que los operadores y el gobierno desarrollen nuevos servicios de transporte o modifiquen los existentes.

En este marco del sistema global de transporte se puede concluir que la sociedad utiliza el transporte como un servicio (necesidades), que se presta mediante la unión de los múltiples lugares donde se llevan a cabo las distintas actividades (beneficios). Es así, como en cada lugar donde la civilización ha encontrado un uso del suelo, el transporte forma parte de la economía que encierra una región, una nación y, por qué no decirlo, el mundo entero.

Además, y tal como se expresa en la Publicación Técnica No.2[12], del Instituto Mexicano del Transporte y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, al considerar el *sistema integral del transporte*, éste, por sus características y funciones, concentra la participación de los intereses e

ideologías de múltiples grupos. Usuarios, operadores y gobierno perciben al transporte e intervienen en él de diferentes maneras, de acuerdo a su muy particular posición e interpretación de la realidad. La situación se complica al reconocer que coexisten subgrupos con distintos intereses y motivaciones.

Este mismo documento[12] plantea las tesis siguientes:

- "El transporte está integrado al movimiento comercial, por lo que todos los proyectos de transporte deben tomar en cuenta esa integración hasta en los más mínimos detalles de su concepción y ejecución".
- "Cualquier proyecto de desarrollo e infraestructura, que sin duda tendrá una repercusión en la problemática y la operación del transporte, debe otorgar el debido valor a las realidades comerciales y debe atender los problemas de transporte que del proyecto emanen".
- "Cuando un proyecto de transporte surge en respuesta a necesidades comerciales o sociales bien definidas, es contraproducente el resultado operativo al que se llega, si en el afán por recortar costos de construcción, se reducen sus especificaciones técnicas".

La misión del transporte[9] se lleva a cabo mediante la provisión de redes compuestas por la siguiente estructura, esquematizada en la figura 3.2:

1. *Las conexiones o medios*

   Son aquellas partes o elementos fijos, que conectan las terminales, sobre los cuales se desplazan las unidades transportadoras. Pueden ser de dos tipos:

   - Conexiones físicas: carreteras, calles, rieles, ductos, rodillos y cables.
   - Conexiones navegables: mares, ríos, el aire y el espacio.

2. *Las unidades transportadoras*

   Son las unidades móviles en las que se desplazan las personas y las mercancías. Por ejemplo:

   - Vehículos: automotores, trenes, aviones, embarcaciones y vehículos no motorizados.
   - Cabinas, bandas, motobombas, la presión y la gravedad.

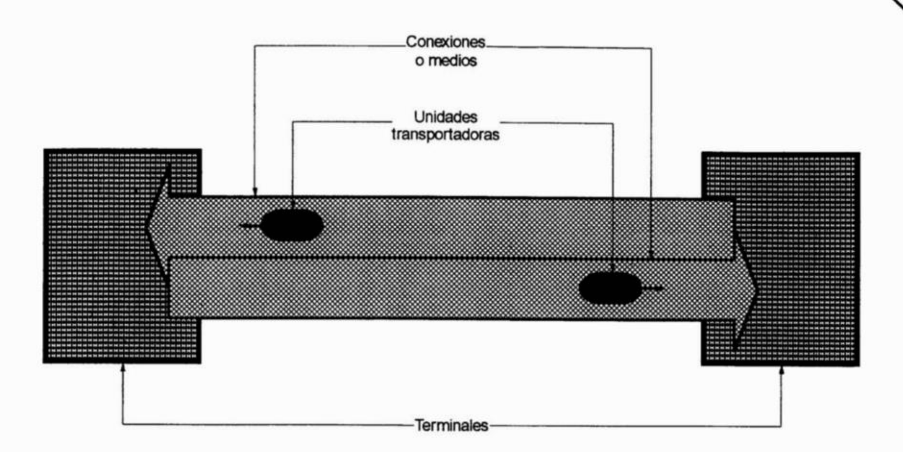


Figura 3.2 *Estructura física básica del sistema de transporte*

3. ***Las terminales***

Son aquellos puntos donde el viaje o embarque comienza y termina, o donde tiene lugar un cambio de unidad transportadora o modo de transporte. Se tienen las siguientes terminales:

- *Grandes:* aeropuertos, puertos, terminales de autobuses y de carga, estaciones ferroviarias y estacionamientos en edificios.
- *Pequeños:* plataformas de carga, paradas de autobuses y garajes residenciales.
- *Informales:* estacionamientos en la calle y zonas de carga.
- *Otros:* tanques de almacenamiento y depósitos.

3.3.2 SISTEMAS Y MODOS DE TRANSPORTE

La mayoría de las actividades globales de transporte se llevan a cabo en *cinco grandes sistemas*: carretero, ferroviario, aéreo, acuático y de flujos continuos. Cada uno de ellos se divide en dos o más *modos* específicos, y se evalúan en términos de los siguientes tres atributos[9]:

1. ***Ubicación***

Grado de accesibilidad al sistema, facilidad de rutas directas entre puntos extremos y facilidad para acomodar un tránsito variado.

Tabla 3.1 Sistema Global de Transporte

Sistema	Medio	Ubicación	Movilidad	Eficiencia	Modo	Servicio de pasajeros	Servicio de carga
Carretero	Carreteras y calles	Muy alta. Acceso directo a la propiedad lateral. Rutas directas limitadas por la topografía y el uso del suelo.	Velocidades limitadas por factores humanos y controles. Baja capacidad vehicular, pero alta disponibilidad de vehículos.	No tan alta en términos de seguridad, energía y algunos costos.	Camión		Interurbano, local y rural, hacia centros de procesamiento y mercados. Cargas pequeñas y contenedores.
					Autobús	Interurbano y local.	Paquetes (interurbano).
					Automóvil	Interurbano y local.	Objetos personales.
					Bicicleta	Local y recreacional.	Insignificante.
Ferroviario	Rieles	Limitada por la alta inversión en la estructura de las rutas y por la topografía.	Mayor velocidad y capacidad que los modos por carretera.	Generalmente alta, pero los costos laborales pueden bajar la eficiencia.	Ferrocarril	Interurbano.	Interurbano. En volumen. Contenedores
					Metro	Regional y urbano.	Ninguno.
Aéreo	Aire	Los costos de aeropuertos reducen la accesibilidad. Rutas completamente directas	Las velocidades son las más altas, con capacidad vehicular limitada	Moderadamente baja en términos de energía y costos de operación	Aviación comercial	Interurbano a grandes distancias. Transoceánico.	Mercancías de alto valor. Contenedores.
					Aviación general	Interurbano, recreacional y de negocios.	Poco.
Acuático	Mares y ríos	Rutas directas. Accesibilidad limitada por la disponibilidad de mares y ríos navegables y puertos seguros.	Baja velocidad. Capacidad muy alta por vehículo.	Muy alta por los bajos costos y poco consumo de energía. La seguridad es variable.	Barcos	Tránsito de crucero.	En volumen (petróleo). Contenedores.
					Cabotaje y fluvial	Transbordo en lanchas y barcazas.	Volúmenes medianos de carga
Flujos Continuos	Ductos	Limitadas a pocas rutas y puntos de acceso.	Bajas Velocidades. Alta capacidad.	Generalmente alta. Bajos costos por consumo de energía	Ductos	Ninguno.	Líquidos y gases.
	Rodillos				Bandas	Escaleras y bandas a nivel	Manejo de materiales.
	Cables				Cables	Transporte en cabinas.	Manejo de materiales.

FUENTE:
Adaptada de Homburger, W.S., Kell, J.H. y Pekins, D.D., *Fundamentals of Traffic Engineering*, 13th edition, University of California, Berkeley, 1992

2. *Movilidad*

   Cantidad de tránsito que puede acomodar el sistema (capacidad) y la rapidez con la que éste puede transportar.

3. *Eficiencia*

   Relación entre los costos totales (directos más indirectos) del transporte y su productividad.

En la tabla 3.1 se presentan, en términos globales, los sistemas de transporte, sus medios, atributos, modos y el tipo de servicio que prestan.

3.4 ALCANCES DE LA INGENIERIA DE TRANSITO

Definido de esta manera el marco de referencia de la Ingeniería de Tránsito, en esta importante rama se analiza en forma pormenorizada lo siguiente:

1. ***Características del tránsito***

   Se analizan los diversos factores y las limitaciones de los vehículos y los usuarios como elementos de la corriente de tránsito. Se investigan la velocidad, el volumen y la densidad; el origen y destino del movimiento; la capacidad de las calles y carreteras; el funcionamiento de: pasos a desnivel, terminales, intersecciones canalizadas; se analizan los accidentes, etc. Así se pone en evidencia la influencia de la capacidad y limitaciones del usuario en el tránsito; se estudia al usuario particularmente desde el punto de vista psíquico-físico, indicándose la rapidez de las reacciones para frenar, para acelerar, para maniobrar, su resistencia al cansancio, etc., empleando en todo esto, métodos modernos e instrumentos psicotécnicos, así como la metodología estadística.

2. ***Reglamentación del tránsito***

   La técnica debe establecer las bases para los reglamentos del tránsito; debe señalar sus objeciones, legitimidad y eficacia, así como sanciones y procedimientos para modificarlos y mejorarlos. Así, por ejemplo, deben ser estudiadas las reglas en materia de licencias; responsabilidad

de los conductores; peso y dimensiones de los vehículos; accesorios obligatorios y equipo de iluminación, acústicos y de señalamiento; revista periódica; comportamiento en la circulación, etc.
Igual atención se da a otros aspectos, tales como: prioridad del paso; tránsito en un sentido; zonificación de la velocidad; limitaciones en el tiempo de estacionamiento; control policiaco en las intersecciones; procedimiento legal y sanciones relacionadas con accidentes; peatones y transporte público.

3. *Señalamiento y dispositivos de control*

Este aspecto tiene por objeto determinar los proyectos, construcción, conservación y uso de las señales, iluminación, dispositivos de control, etc. Los estudios deben complementarse con investigaciones de laboratorio. Aunque el técnico en tránsito no es responsable de la fabricación de estas señales y semáforos, a él incumbe señalar su alcance, promover su empleo y juzgar su eficiencia.

4. *Planificación vial*

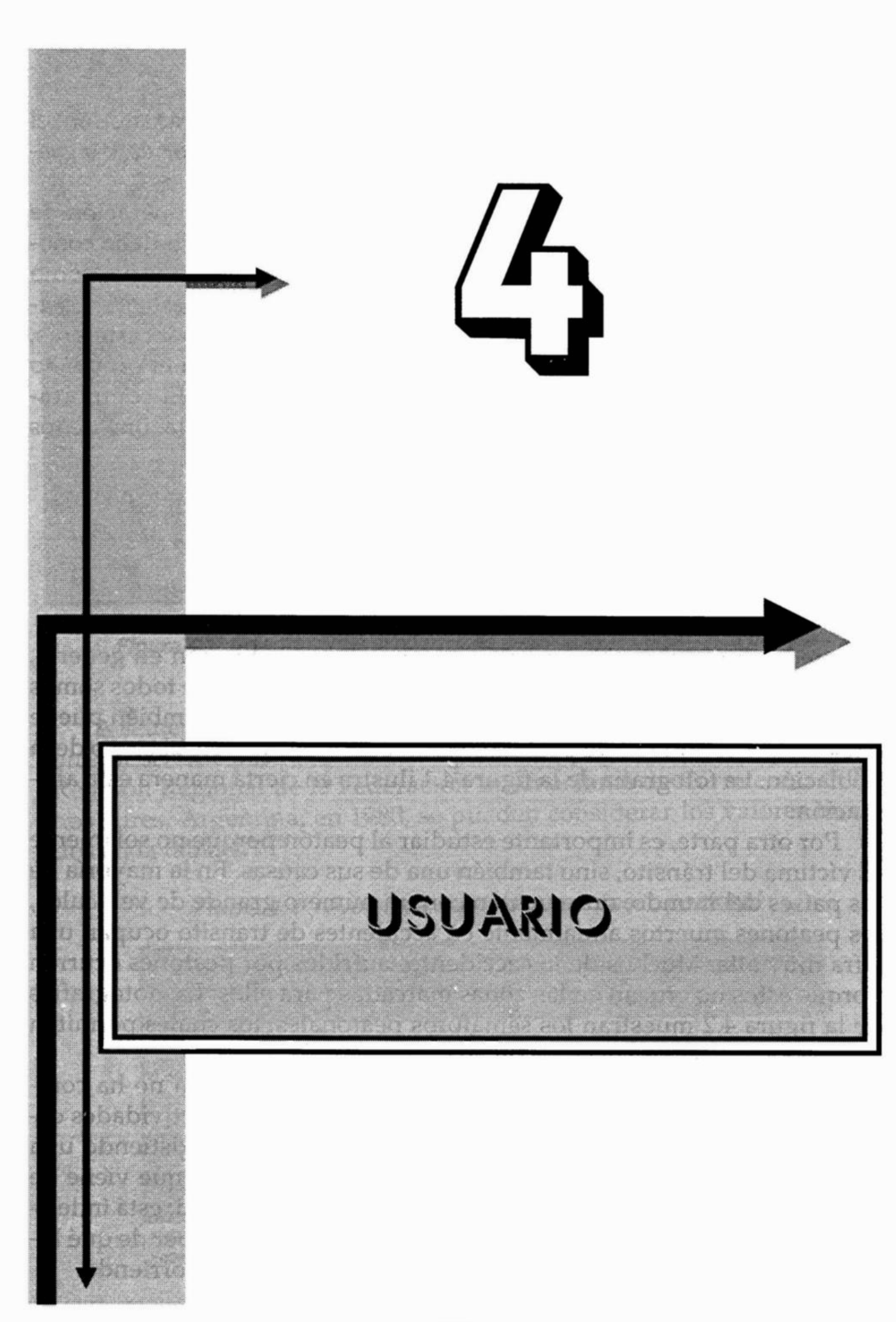
Es indispensable, en la Ingeniería de Tránsito, realizar investigaciones y analizar los diferentes métodos, para planificar la vialidad en un país, en una municipalidad o en una pequeña área, para poder adaptar el desarrollo de las calles y carreteras a las necesidades del tránsito. Parte de esta investigación está dedicada exclusivamente a la planificación de la vialidad urbana, que permite conocer los problemas que se presentan al analizar el crecimiento demográfico, las tendencias al aumento en el número de vehículos y la demanda de movimiento de una zona a otra.
Es reconocido que el tránsito es uno de los factores más importantes en el crecimiento y transformación de un centro urbano y de una región, y es por esto que el punto de vista del Ingeniero de Tránsito debe ser considerado en toda programación urbanística y en toda planificación de política económica. El técnico a su vez debe acostumbrarse a tener en cuenta en sus trabajos las distintas exigencias de la colectividad de la higiene, de la seguridad, de las actividades comerciales e industriales, etc.

5. *Administración*

Es necesario examinar las relaciones entre las distintas dependencias públicas que tienen competencia en materia vial y su actividad admi-

nistrativa al respecto. Deben considerarse los distintos aspectos tales como: económico, político, fiscal, de relaciones públicas, de sanciones, etc.

Finalmente, debe hacerse énfasis en lo siguiente: el *Ingeniero de Tránsito* debe estar capacitado para encontrar la mejor solución al menor costo posible. Naturalmente, puede pensarse en infinidad de soluciones por demás costosas, pero el técnico preparado en la materia además de estar capacitado para encontrar esta mejor solución, debe desarrollar eficientemente acciones a largo plazo, que tiendan a mejorar las condiciones del tránsito sin poner restricciones innecesarias al mismo.



4

USUARIO

4.1 GENERALIDADES

Los tres *elementos básicos* que componen la ingeniería de tránsito son: el *usuario* (relacionado con peatones y conductores), el *vehículo* y la *vialidad* (relacionado con calles y carreteras).

Siempre que se trate de la planeación, estudio, proyecto y operación de un sistema de transporte automotor, el ingeniero de tránsito debe conocer las habilidades, limitaciones y requisitos que tiene el usuario, como elemento de la ingeniería de tránsito. Los seres humanos, *peatones* y *conductores,* son elementos primordiales del tránsito por calles y carreteras, quienes deben ser estudiados y entendidos claramente con el propósito de poder ser controlados y guiados en forma apropiada. El comportamiento del individuo en el flujo de tránsito, es con frecuencia, uno de los factores que establece sus características.

4.2 PEATON

Se puede considerar como peatón potencial a la población en general, desde personas de un año hasta de cien años. Prácticamente todos somos peatones, por lo tanto, a todos nos interesa este aspecto. También puede decirse, que el número de peatones en un país casi equivale al censo de la población. La fotografía de la figura 4.1 ilustra en cierta manera esta afirmación.

Por otra parte, es importante estudiar al peatón porque no solamente es víctima del tránsito, sino también una de sus causas. En la mayoría de los países del mundo, que cuentan con un número grande de vehículos, los peatones muertos anualmente en accidentes de tránsito ocupan una cifra muy alta. Muchos de los accidentes sufridos por peatones ocurren porque éstos no cruzan en las zonas marcadas para ellos. Las fotografías de la figura 4.2 muestran los semáforos peatonales, los cuales permiten un mejor control para el cruce de peatones.

El peatón no se ha asimilado al medio; en general, aún no ha comprendido lo que significa el transporte automotor. En las actividades comunes del peatón en las calles, en la vida diaria, sigue existiendo una situación anormal. Esto se nota más claramente con gente que viene de fuera del medio, como el provinciano que llega a una ciudad; está indeciso en los cruceros esperando un momento oportuno, sin saber de qué lugar vienen los vehículos y repentinamente trata de cruzar corriendo.

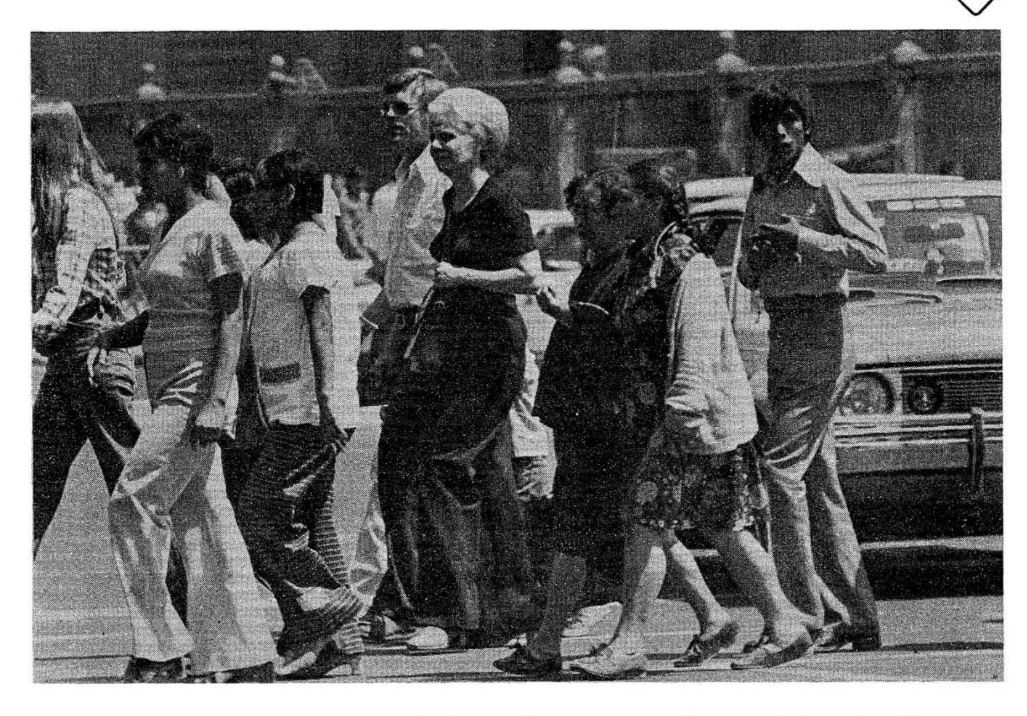


Figura 4.1 *Relación entre el número de peatones y el censo de la población*

A semejanza con los servicios para vehículos se puede establecer un *nivel de servicio* para el tránsito de peatones. Según datos aportados en la Reunión Regional de la Federación Internacional de Carreteras, en Buenos Aires, Argentina, en 1980, se pueden considerar los valores mostrados en la tabla 4.1[13].

Tabla 4.1 Niveles de servicio para tránsito peatonal

Nivel de servicio	Volumen de servicio (peat/min/m)	m^2 por peatón	Velocidad mínima de operación	
			m/min	km/h
A	22	3.5	77	4.6
B	30	2.5	75	4.5
C	46	1.5	69	4.1
D	62	1.0	62	3.7
E	81	0.5	40	2.4
F	Variable	< 0.5	< 40	< 2.4

FUENTE:
Federación Internacional de Carreteras, *Reunión Regional*, Buenos Aires, Argentina, 1980.

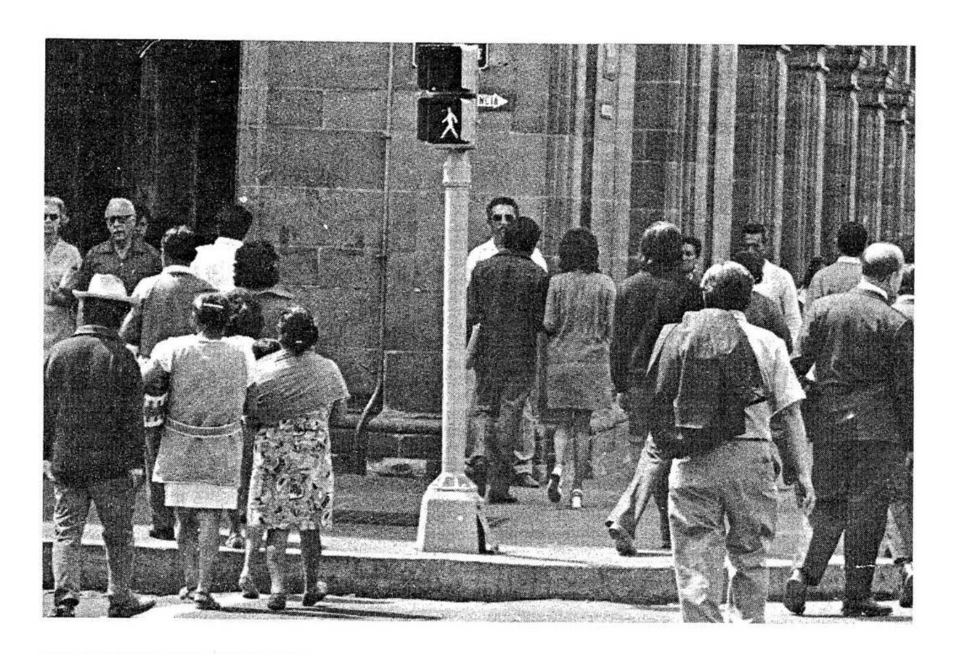




Figura 4.2 *Semáforos peatonales*

En la tabla anterior, se acepta el nivel de servicio *E* como aquel al cual se llega al máximo volumen de servicio o capacidad, la que indica que por cada metro de sección transversal de acera pueden pasar un máximo de 81 peatones por minuto, a una velocidad de 2.4 kilómetros por hora. Esto, en otras palabras, en términos de espacio representa 0.5 metros cuadrados por peatón. Para efectos de comparación, en la tabla 4.2 se muestran los criterios adoptados por el *Manual de Capacidad de Carreteras de 1985* de los Estados Unidos[14], en la definición de los niveles de servicio peatonales, para condiciones promedio en periodos de 15 minutos.

Tabla 4.2 Niveles de servicio en aceras

Nivel de servicio	Flujo de servicio esperado (peat/min/m)	Espacio m^2 por peatón	Velocidad media esperada	
			m/min	km/h
A	≤ 7	≥ 12.1	≥ 79	≥ 4.7
B	≤ 23	≥ 3.7	≥ 76	≥ 4.6
C	≤ 33	≥ 2.2	≥ 73	≥ 4.4
D	≤ 49	≥ 1.4	≥ 69	≥ 4.1
E	≤ 82	≥ 0.6	≥ 46	≥ 2.8
F	Variable	< 0.6	< 46	< 2.8

FUENTE:
Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, National Research Council, Washington, D.C., 1985.

Obsérvese que, al comparar las dos tablas anteriores, los valores finalmente adoptados por el Manual de Capacidad en la definición de los niveles de servicio peatonales son mucho más exigentes, sobre todo para el nivel de servicio *A*. Sin embargo, en cuanto a capacidad son bastante consistentes.

Si se pudiera prever el volumen de peatones que va a tener cierta sección comercial de la ciudad, se partiría de esta base para proyectar el ancho de las aceras. También se puede medir la deficiencia de las aceras actuales, pues se sabe que muchas de las que se tienen en el centro comercial, son insuficientes, o que no llenan el requisito de capacidad, por lo que se pueden tomar acciones tendientes a mejorar sus condiciones.

4.3 CONDUCTOR

En los Estados Unidos se ha determinado la siguiente relación: existen 1.7 conductores por cada vehículo. En el año 1989, se registraban 183 468 000

vehículos, lo que quiere decir que, aproximadamente, 311 895 600 serían conductores. En México, se ha obtenido una relación aproximada de 3.0 conductores por vehículo. En ese mismo año, el número de vehículos en la República era de 7 795 000, lo que representaba 23 385 000 conductores potenciales. Esta cifra ya es importante, es el sector de la población al cual se tiene que dirigir y enfocar nuestro esfuerzo, por un lado, y a los peatones por el otro.

¿Qué significa el vehículo para la mayor parte de los conductores? En los capítulos anteriores se ha visto que el vehículo de motor es algo novedoso que se ha puesto repentinamente en las manos de millones de gentes, y que tiene sólo de 70 a 90 años de estar entre nosotros. El público en general no se ha adaptado al medio motorizado. Los jóvenes empiezan a asimilarlo; por lo regular, el que conduce un vehículo conoce el mecanismo, sabe lo que es el volante, las velocidades, el freno, etc., pero desconoce las limitaciones, la potencialidad de ese vehículo y carece de destreza para mezclarlo en la corriente de tránsito. Con apoyo en las estadísticas de accidentes se puede asegurar que *el vehículo automotor, sin la preparación previa del individuo a través de la educación vial, se ha convertido en un arma homicida*. El individuo que maneja un automóvil, la mayor parte de las veces no se da cuenta de que con un leve movimiento del pedal puede acabar con la vida de varias personas en unos cuantos instantes. La fotografía de la figura 4.3 ilustra el mecanismo, la potencialidad y las limitaciones de un vehículo.

A través del tiempo, sin embargo, el hombre ha demostrado una gran adaptabilidad a los cambios de la vida moderna. Se ha visto cómo el indi-

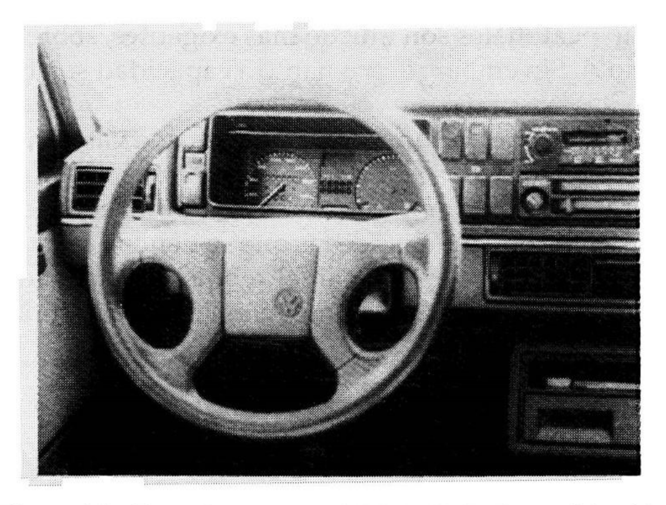


Figura 4.3 *Mecanismo, potencialidad y limitaciones del vehículo*

viduo es capaz de conducir carretas y rápidamente cambiar a la conducción de diligencias, de mayor velocidad, para posteriormente adaptarse a las condiciones del vehículo de motor. Según ha ido cambiando y evolucionando el vehículo, el hombre se ha ido adaptando con facilidad, y así como conducía antes vehículos con una velocidad máxima de 30 km/h, en pocos años ha conducido vehículos que pasan de 1 000 km/h; naturalmente, en estos últimos, en competencias deportivas en distancias rectas muy cortas. Al vehículo de turismo común y corriente, se le ve en los eventos deportivos alcanzar promedios de velocidad de 200 a 300 km/h.

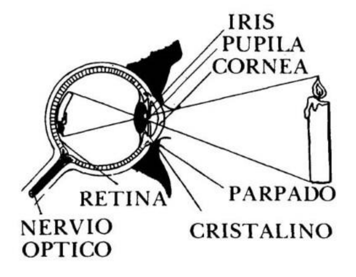
El individuo tiene la facultad de adaptarse a cualquier innovación que le presenten; se ha demostrado que un piloto lo mismo conduce una carreta de bueyes que un avión a mayor velocidad que la del sonido. Luego no han sido las limitaciones físicas del hombre sino la falta de adaptación de las masas. Pero no solamente debe adaptarse al piloto de pruebas o al corredor profesional, sino que existe la obligación de preparar a todo el público, a todos los peatones, a todos los conductores.

4.4 VISION

El órgano visual se semeja mucho a una cámara fotográfica, según se aprecia en la figura 4.4. Está compuesto de una cavidad que, al igual que la cámara fotográfica, en su parte frontal posee una lente formada por el iris, la pupila, la córnea, el cristalino y el párpado, que actúan como el diafragma y el obturador, con la propiedad de ampliarse o reducirse de acuerdo con la cantidad de luz que quiera admitir esa cavidad interior. En su parte posterior está la retina, que es una serie de celdas que perciben el estímulo exterior y mandan el mensaje al cerebro. Los músculos pueden variar la distancia focal, mediante ciertos movimientos del ojo, permitiéndole a la persona enfocar a diferentes distancias.

De la facultad de enfocar se citan a continuación algunas cifras que pueden ser de interés a este respecto: para el movimiento de la cabeza del usuario se han hecho algunos experimentos para determinar cuánto tiempo tarda en ver un objeto, hacer un ligero movimiento y observar otro en dirección diferente. *Reaccionar* significa que el mensaje es enviado del ojo al cerebro y éste ordena el movimiento a los músculos, para *accionar*. Para cambiar de ángulo se necesitan de 0.1 a 0.3 segundos. Finalmente, el tiempo necesario para enfocar es de 0.17 a 3 segundos, si se sale de un medio obscuro a uno de luz natural, en cuyo caso el órgano visual humano tarda más tiempo en adaptarse. Así, en la salida de un túnel, en promedio tarda aproximadamente 3 segundos, dependiendo de cada individuo.

OJO HUMANO



CAMARA FOTOGRAFICA

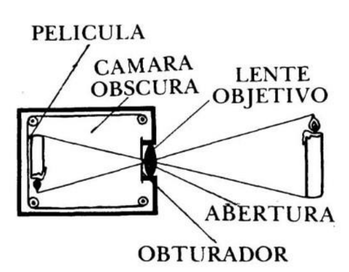


Figura 4.4 *El ojo humano y la cámara fotográfica*

Un conductor que llega a una esquina, para saber únicamente si el paso está libre tarda: para voltear hacia la derecha de 0.1 a 0.3 segundos, enfocar 0.3 segundos, voltear a la izquierda de 0.1 a 0.3 segundos, y finalmente enfocar otra vez 0.3 segundos. Esto es, la suma total del tiempo necesario para voltear a la derecha, enfocar, voltear a la izquierda y enfocar es de 1.2 segundos, tomando valores máximos. Son valores obtenidos a través de experiencias directas, es decir, en forma empírica.

Los *defectos* más comunes de la visión son: *miopía, presbicia, astigmatismo, estrabismo,* etc., que se corrigen por medio de la adaptación de lentes o intervenciones quirúrgicas. Gracias a estos recursos no hay razón para impedir que una persona maneje un vehículo, si su defecto visual se puede corregir perfectamente.

Otro defecto, ya no tan común, es el *daltonismo*, que se manifiesta en la dificultad para distinguir ciertos colores. La persona que padece de daltonismo, en grado crítico, no distingue ningún color. Naturalmente, el no poder distinguir entre el rojo y el verde de un semáforo podría ser un impedimento grave; sin embargo, hace muchos años se hizo una convención entre autoridades de tránsito y fabricantes de semáforos para resolver ese problema. Se llegó a la conclusión de que se pusieran todos de acuerdo para que la luz de la parte superior fuera roja. De esta manera, aquellas personas que sufren de daltonismo tendrán la indicación suficiente, sabiendo que la luz superior es la de ALTO, aunque no distingan entre rojo, verde y ámbar.

La *visión normal* de una persona viendo hacia el frente abarca todo lo que sucede en un ángulo de 180°. Casi todas las personas perciben lo que acontece a ambos lados de la cabeza, o sea formando un ángulo de 180°, pero no distinguen detalles. Estos únicamente se identifican en un ángulo

más cerrado, llamado ángulo central de *visión periférica*, que varía entre 120° y 160°.

También hay personas que padecen del defecto de *visión de túnel*, consistente en que no distinguen absolutamente nada fuera de cierto cono de visión. El caso puede llegar a ser crítico y se estima que cuando la persona tiene visión de túnel menor de 140°, no debe manejar.

Algo semejante a la visión de túnel le ocurre a todos los conductores a alta velocidad. A medida que el vehículo aumenta de velocidad el conductor sufre visión de túnel, debido a que enfoca a mayor distancia, dejando de percibir los detalles de los lados. Sólo ve claramente dentro de un cono cuyo vértice es el centro de los órganos visuales. Cualquiera lo habrá experimentado y lo puede observar al conducir en carretera. Al aumentar la velocidad la vista se fija más lejos, dejando de percibir detalles cercanos. Muchas veces, cuando va algún acompañante en el vehículo y nos dice: ¿Te fijaste en Fulano?, la respuesta es no lo vi. ¿Por qué?, porque nuestra vista va fija en un punto lejano y no percibimos los detalles laterales adyacentes. Esto quiere decir que en una ciudad donde los detalles son múltiples y hay que tener mucho cuidado, la velocidad no debe ser muy alta, precisamente porque el conductor pierde la facultad de distinguir lo que sucede a su alrededor inmediato. Este efecto se aprecia perfectamente en la fotografía de la figura 4.5.

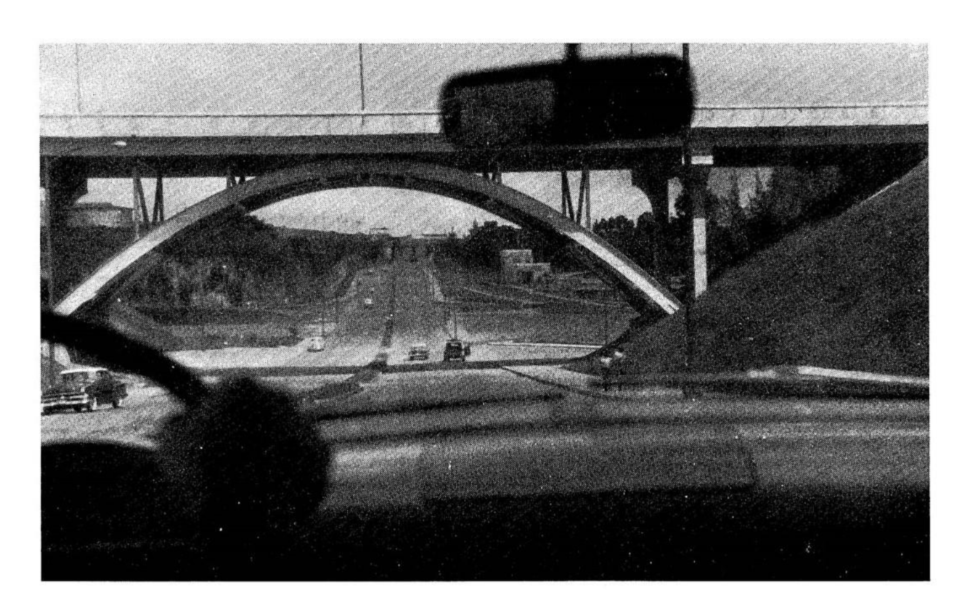


Figura 4.5 *Enfoque en un primer plano y a distancia considerable*

Debido a la concentración visual, el alcance efectivo de la visión periférica se contrae al incrementarse la velocidad, desde un ángulo central de 100° a 30 km/h hasta un ángulo de 40° a 100 km/h. En otras palabras, si se atraviesa un poblado a 100 km/h, no se perciben claramente más que los detalles que estén dentro de un ángulo cerrado de 40°. Este aspecto es importante, ya que la lectura de textos se puede realizar sobre señales que estén ubicadas dentro de ciertos ángulos.

Igualmente, a medida que aumenta la velocidad del vehículo aumenta la distancia a la cual la persona está enfocando su visión. Así se tiene que a una velocidad de 30 km/h la vista de la persona está fija en un punto localizado aproximadamente a 150 metros de distancia; a 60 km/h, a 300 metros y a 80 km/h, la vista del usuario estará fija a 450 metros.

Siendo la visión uno de los dos factores limitativos en el conductor, además del tiempo de reacción, se presentan unas sencillas pruebas que toda persona puede hacer[15]. No se trata de pruebas que puedan sustituir a un reconocimiento médico, sino experimentos rudimentarios que pueden ayudar a descubrir deficiencias que deben ser confirmadas por el médico. Sirven sólo de orientación.

Lea el texto de letra pequeña que sigue a continuación. Si puede leerlo claramente, sin lentes y a 35 centímetros de distancia, con cada ojo por separado, tapándose uno primero y después el otro, su vista es normal.

Si puede leer esto a 35
centímetros de distancia
(la aceptada como normal
para la lectura), sin lentes y
con cada uno de los dos ojos,
su agudeza visual es normal.

Lea las letras grandes que siguen a continuación, de la siguiente manera: colóquelas a una distancia de 6 metros, con cada ojo por separado y luego con los dos. Si su visión es de 20/20, es decir normal, esa lectura no deberá ofrecer dificultad.

D E F P O T E

Sostenga verticalmente un lápiz frente a usted, al nivel de los ojos. Cierre un ojo y acerque lentamente el dedo índice de la otra mano hasta tocar la punta del lápiz. Si su percepción de profundidad es deficiente, en ocasiones no acertará a tocar la punta del lápiz.

Enrolle, sin apretarlo, un periódico para formar un tubo a través del cual pueda ver con los ojos. Reduzca la intensidad de la luz de la habita-

ción, dejando la suficiente para poder leer esta página. Ahora encienda un foco de 100 watts y mírelo a través del tubo durante 5 segundos. Apague ese foco y con la luz ambiente anterior mire esta página otra vez a través del tubo. Antes de transcurridos 7 segundos deberá usted poder leer el texto. Si no es así, puede padecer una deficiente capacidad de adaptación a los cambios de luz, lo que puede ser peligroso en el manejo.

Como anteriormente se dijo, el ángulo de visión normal es de 180°. Es decir, con la mirada fija al frente se deben percibir todos los objetos a nuestro alrededor. Para determinar si la visión es normal fije su vista en un punto situado frente a usted. Sosteniendo un lápiz en cada mano, levante los brazos hacia atrás, a la altura de los hombros y luego adelántelos lentamente, mirando de frente todo el tiempo, hasta que pueda ver ambos lápices a la vez. Se considera peligroso si el ángulo de visión es menor de 140°.

El *astigmatismo,* o deformación de la curvatura de la córnea y/o del cristalino puede empañar o deformar las imágenes. Sostenga a 35 centímetros de distancia los círculos que aparecen en la figura 4.6. Examínelos con cada ojo, por separado, con anteojos y sin ellos. Si cualquiera de las líneas en alguno de los círculos aparece más definida y oscura que las demás, lo más seguro es que padezca astigmatismo, tenga o no una agudeza visual de 20/20.

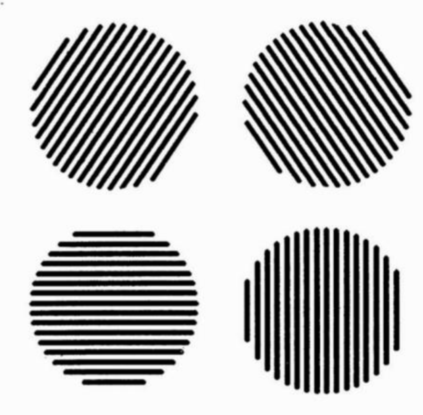


Figura 4.6 *Prueba de astigmatismo*

Es importante recordar que todas las pruebas presentadas anteriormente no constituyen exactamente lo que podría considerarse un examen completo de la vista. Sin embargo, si usted ha advertido alguna deficiencia o diferencia, es conveniente realizar una visita al médico.

4.5 REACCIONES FISICAS Y PSICOLOGICAS

Hay dos tipos de reacciones en el individuo: la *reacción física* o *condicionada* y la *reacción psicológica*.

La *reacción condicionada* está relacionada con el sector de conductores que han desarrollado ciertos hábitos. A las personas que están acostumbradas a utilizar cierta ruta especial, determinada carretera o calle, se les desarrolla un hábito que se convierte en destreza. Pueden llegar a cierto crucero y prever el peligro; pueden tener en cuenta cosas que la persona que pasa por primera vez no advierte. Entonces esas personas han desarrollado cierta habilidad, a la vez que una reacción condicionada, por haber usado esa ruta muchas veces.

Como comparación y mayor claridad, se cita a continuación uno de los experimentos que se han realizado en laboratorios de biología con animales: a un perro al que se le ha hecho una operación previa –mediante la cual se le ha introducido una canalización al estómago conectando las glándulas de las que se obtiene la secreción del jugo gástrico, con el exterior– se le da de comer a determinada hora, pero instantes antes se hace sonar una campana. Se ve que cada vez que va a recibir el alimento secreta unas gotas de jugo gástrico a través de la canalización. Llega a tal grado el hábito del perro que, aunque no vea la comida, simplemente al oír la campana empieza a secretar jugo gástrico. Eso es lo que se llama una reacción condicionada.

De la misma manera, el conductor de un vehículo reacciona de acuerdo con los hábitos buenos o malos que se ha formado. Por lo general el hábito o la experiencia que ha adquirido el usuario, es la mejor defensa contra los accidentes.

La *reacción psicológica*, en cambio, es un proceso intelectual que culmina en un juicio. Se trata de estímulos que son percibidos y enviados al cerebro. Después de obtener una reacción se llega a una decisión para actuar. Son reacciones intelectuales del individuo, pero están afectadas por las emociones y otras causas que pueden modificar las facultades del mismo.

Se puede imaginar el diagrama de cómo llegan esas emociones, esos estímulos, al cerebro, a través de los órganos sensitivos del hombre: tacto, oído, vista, etc. Esas reacciones envían un mensaje al cerebro; éste tiene que reaccionar mediante un proceso intelectual y tomar una decisión para actuar; finalmente, manda la orden al músculo apropiado, que actúa de inmediato.

Hay un tiempo mínimo de reacción en estos procesos. Este tiempo de reacción es el que corresponde al estímulo simple, es decir, no a una situación complicada, sino a una situación sencilla cuando existe un estímulo único. Se llama en este caso, *estímulo*, a cualquier emergencia que se presente en la carretera o en la calle: un peatón que cruza, un animal, una desviación, cualquier obstáculo, etc. Es el estímulo que percibe el usuario y que lo anima a actuar.

El *tiempo mínimo de reacción* que se ha encontrado en el promedio de los individuos, cuando el vehículo no está en movimiento, es de 0.25 segundos. Este tiempo es, por ejemplo, el que tarda un conductor que está parado en espera del cambio de luz del semáforo, para reaccionar cuando pase de rojo a verde y coloque velocidad para arrancar el vehículo. De acuerdo con pruebas que se han efectuado con semáforos aislados, los tiempos promedio de reacción fueron los siguientes: 0.25 segundos, cuando el vehículo está inmóvil y 0.83 segundos, para el vehículo en movimiento, dependiendo de las circunstancias del tránsito y las velocidades. Se vio que en algunos casos podía llegar hasta 2 ó 3 segundos.

Los factores que pueden modificar las facultades del individuo en el tiempo de reacción son los siguientes:

- La fatiga.
- Las enfermedades o deficiencias físicas.
- El alcohol y las drogas.
- Su estado emocional.
- El clima.
- La época del año.
- Las condiciones del tiempo.
- La altura sobre el nivel del mar.
- El cambio del día a la noche y viceversa.

Entre las reacciones del usuario, se ve que el caso más usual es el de reacción condicionada: todos los usuarios, unos más, otros menos, tienen cierta experiencia, cierto número de horas de conducir, cierto entrenamiento, etc., y sus reacciones son condicionadas, por esa causa.

De ahí que experimentos realizados hayan dado conclusiones muy interesantes. Por ejemplo: el hecho de que un semáforo esté durante años colocado en cierta posición, conocida de los conductores, es fundamental, ya que si los semáforos fuesen cambiados de lugar repentinamente, vendría la confusión en las intersecciones. Igual cosa sucede con calles de dos sentidos, que de un día para otro son cambiadas a un sentido de cir-

culación. El usuario, que responde a reacciones condicionadas, ve de repente su ambiente cambiado; se encuentra con que ayer podía cruzar en dos sentidos por esa calle y hoy sólo puede hacerlo en uno. Se produce una confusión.

Otro caso es el de las señales de tránsito. Uno de los mayores esfuerzos que han hecho las autoridades de tránsito, tanto federales, estatales, como municipales, tiende a conservar la uniformidad de las señales en forma, color y tamaño. Desde un principio se llegó a la conclusión de conservar el menor número de formas diferentes y se tienen las ya conocidas: el cuadrado, el rectángulo y el octágono.

Desde que se empezaron a fabricar esas señales, se notó que el octágono era una señal que producía desperdicios en las láminas de las cuales eran cortadas para troquelarlas, pintarlas, etc. Inmediatamente pensaban los fabricantes en el porqué de producir esta señal que dejaba pequeños recortes que no servían para nada y encarecían el costo. Después de muchos experimentos y varios años de uso se llegó a la conclusión de que la señal tenía mayor valor con esa forma porque el usuario estaba ya acostumbrado. Automáticamente se reconocía la forma de esa señal y muchas veces ni siquiera se leía el texto de ALTO, sino simplemente con reconocer a distancia la forma que tenía la señal el usuario se disciplinaba a ella; es decir, actuaba mecánicamente, percibía la forma de la señal y la obedecía.

La falta de uniformidad en las señales provoca cambios bruscos en las condiciones del tránsito y confunde al usuario. Por cambios bruscos en el tránsito se entienden todos aquellos que se relacionan con reglamentos del tránsito, cambio de sentido de una calle, cambio en la posición de un semáforo o del agente, cambio de un tipo de señal, u obstáculos imprevistos en la carretera o calle. Los cambios se pueden presentar; puede existir la incorporación de una nueva modalidad en el tránsito; pero no deben ser bruscos, sino lentos. Deben ser paulatinamente incorporados al ambiente del usuario mediante campañas de preparación, películas, inserciones periodísticas, televisión, etc., para que cuando esa medida llegue al usuario no sea repentina ni brusca y encuentre buena acogida por parte del mismo.

¿Por qué es tan importante, por decirlo así, *"enamorar"* al usuario antes de implantar una medida? Porque la efectividad de una medida en el tránsito depende en su mayor parte del convencimiento y adopción de la misma por parte de aquél. Por eso se necesita, antes de implantarla, el darla a conocer, exponer las razones, convencer al usuario, etc., para garantizar el éxito de la operación. Se debe recordar siempre la máxima que dice: *"deben evitarse cambios bruscos en el tránsito"*.

4.6 DISTANCIA PARA DETENER UN VEHICULO

La distancia total para detener un vehículo, llamada *distancia de parada, D_p,* depende de los tiempos de *percepción*, de *reacción* y de *frenado*. Se expresa como:

$$D_p = d_p + d_r + d_f \qquad (4.1)$$

Donde:
d_p = distancia recorrida durante el tiempo de percepción
d_r = distancia recorrida durante el tiempo de reacción
d_f = distancia recorrida durante el tiempo de frenado

La distancia recorrida durante los tiempos de percepción y reacción ($d_p + d_r$), se lleva a cabo mediante el proceso denominado *PIEV* (*Percepción, Intelección, Emoción, Volición*), que describe los cuatro componentes de la reacción en respuesta a un estímulo exterior:

1. *Percepción*

Impresión material producida en los sentidos por un estímulo exterior. Es una recepción sensorial de información; se percibe la situación. Para un conductor, es el intervalo de tiempo comprendido entre la aparición del objeto exterior y su reconocimiento a través de su sensación visual.

2. *Intelección*

Acto de entender o concebir; se entiende la situación. Es el tiempo necesario para comparar y registrar las nuevas sensaciones.

3. *Emoción*

Agitación del ánimo producto de la percepción y el entendimiento de la situación. Durante este tiempo el conductor utiliza el juicio y la experiencia para tomar una actitud o llegar a una decisión.

4. *Volición*

Acto por el cual la voluntad determina hacer algo. Es el tiempo necesario para llevar a la acción la decisión tomada.

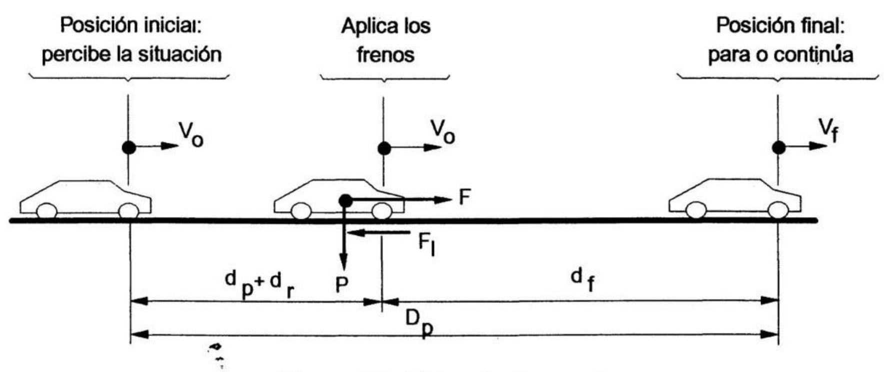


Figura 4.7 *Distancia de parada*

Los diferentes componentes para el cálculo de la *distancia de parada*, D_p, aparecen esquematizados en la figura 4.7.

Dependiendo de la complejidad del problema y de las características del conductor, el tiempo de percepción-reacción, t_{pr}, o tiempo durante el *PIEV*, t_{PIEV}, varía entre 0.5 y 4.0 segundos. Para fines de proyecto y de cálculo se emplea un valor promedio de 2.5 segundos. Durante este tiempo se considera que la velocidad del vehículo, v_0, se mantiene constante, pues su variación es muy pequeña. Por lo tanto, la *distancia de percepción-reacción*, $d_p + d_r$, para movimiento uniforme es:

$$d_p + d_r = v_0\,(t_{pr})$$

$$= v_0\,(t_{PIEV})$$

Reemplazando t_{PIEV} por 2.5 segundos, para la velocidad v_0 en kilómetros por hora y la distancia $d_p + d_r$ en metros, se tiene:

$$d_p + d_r = v_0\,(\text{km/h})\,(2.5\text{ s})\left(\frac{1\,000\text{ m}}{1\text{ km}}\right)\left(\frac{1\text{ h}}{3\,600\text{ s}}\right)$$

$$d_p + d_r = 0.694\,(v_0) \tag{4.2}$$

La *distancia de frenado*, d_f, depende de muchos factores: la fricción entre llantas y pavimento; el peso del vehículo; el número de ejes; el tipo de pavimento; etc. Sin embargo, estableciendo ciertas condiciones, es posible calcular dicha distancia.

La potencia de frenado del vehículo y la fricción longitudinal entre las llantas y el pavimento, controlan su capacidad para disminuir la velocidad o parar. Un vehículo que se aproxima a un ALTO con el motor desengranado y sin la aplicación de los frenos, es decelerado solamente por la resistencia al rodamiento y la resistencia del aire.

Cuando la anterior maniobra es realizada por el vehículo con el motor engranado, la deceleración se lleva a cabo con la resistencia al rodamiento, la resistencia del aire y la resistencia del motor. Ensayos hechos para medir la deceleración con el vehículo engranado y sin la aplicación de los frenos, indican que varía de 3.5 km/h/s a 1.4 km/h/s, para velocidades comprendidas entre 110 km/h y 30 km/h, respectivamente.

Adicionalmente, si se aplican los frenos, aparece una cuarta resistencia, denominada resistencia por fricción en el frenado. En el caso de que los frenos sean aplicados súbitamente, las llantas quedarán bloqueadas o inmovilizadas y el vehículo derrapará. La longitud de las huellas dejadas por las llantas sobre el pavimento, permitirá conocer la velocidad que traía el vehículo al inicio del derrapamiento.

Por lo tanto, la distancia de frenado, d_f, es recorrida por el vehículo en movimiento uniformemente decelerado, la cual a partir de la acción mecánica de pisar los frenos en una superficie horizontal y sin tomar en cuenta las resistencias al rodamiento, del aire y del motor, es igual a:

$$d_f = v_0 t - \frac{at^2}{2} \qquad (4.3)$$

Donde:

v_0 = velocidad en el momento de aplicar los frenos
t = tiempo en recorrer la distancia d_f
a = tasa de deceleración

También, en movimiento uniformemente decelerado y cuando el vehículo finalmente se detiene, se sabe que:

$$v_0 = at$$

Despejando t:

$$t = \frac{v_0}{a}$$

Reemplazando en la ecuación (4.3):

$$d_f = v_0 t - \frac{a t^2}{2}$$

$$= v_0 \left(\frac{v_0}{a}\right) - \frac{a\left(\frac{v_0}{a}\right)^2}{2}$$

$$d_f = \frac{{v_0}^2}{2a} \tag{4.4}$$

Por otro lado sobre el vehículo actúa una fuerza F, que se valora como:

$$F = ma \tag{4.5}$$

Donde:

m = masa del vehículo

La fuerza F debe ser contrarrestada por otra igual con el fin de detener el vehículo, denominada fuerza de fricción longitudinal F_l, que se expresa así:

$$F_l = f_l P \tag{4.6}$$

Donde:
f_l = coeficiente de fricción longitudinal
P = peso propio del vehículo

Igualando F y F_l, según las ecuaciones (4.5) y (4.6), queda:

$$F = \mathrm{F}_l$$

$$ma = f_l P \tag{4.7}$$

Pero también se sabe que:

$$P = mg \tag{4.8}$$

Sustituyendo el valor de P de la ecuación (4.8) en la ecuación (4.7), resulta:

$$ma = f_l\,(mg)$$

$$a = f_l\,g \qquad (4.9)$$

Ahora, reemplazando este valor de a en la ecuación (4.4):

$$d_f = \frac{v_0^2}{2a}$$

$$= \frac{v_0^2}{2 f_l\, g}$$

Utilizando unidades prácticas y usuales, se transforma la fórmula anterior para v_0 en kilómetros por hora, g en metros por segundo cuadrado y d en metros, como sigue:

$$d_f = \frac{v_0^2\,(\text{km}^2/\text{h}^2)}{2 f_l\,(9.81\ \text{m/s}^2)}\left(\frac{1\,000^2\ \text{m}^2}{1\ \text{km}^2}\right)\left(\frac{1\ \text{h}^2}{3\,600^2\ \text{s}^2}\right)$$

$$d_f = \frac{v_0^2}{254\,(f_l)} \qquad (4.10)$$

Finalmente, sustituyendo las distancias de percepción-reacción $d_p + d_r$ ecuación (4.2) y de frenado d_f ecuación (4.10), en la ecuación (4.1) la *distancia de parada* D_p queda como:

$$D_p = d_p + d_r + d_f$$

$$D_p = 0.694\,(v_0) + \frac{v_0^2}{254\,(f_l)} \qquad (4.11)$$

Para fines de proyecto, tomando en cuenta coeficientes variables de fricción longitudinal, en la tabla 4.3 se presentan valores para las *distancias de parada*, correspondientes a diferentes velocidades de marcha, condiciones de pavimento mojado y a nivel [16].

Tabla 4.3 Distancias de parada en pavimento mojado y a nivel

Velocidad de proyecto (km/h)	Velocidad de marcha v_0 (km/h)	Percepción-reacción: Tiempo t_{pr} (s)	Percepción-reacción: Distancia $d_p + d_r$ (m)	Coeficiente de fricción longitudinal f_l	Distancia de frenado d_f (m)	Distancia de parada D_p (metros): Calculada	Distancia de parada D_p (metros): Proyecto
30	28	2.5	19.43	0.400	7.72	27.15	25
40	37	2.5	25.68	0.380	14.18	39.86	40
50	46	2.5	31.92	0.360	23.14	55.06	55
60	55	2.5	38.17	0.340	35.03	73.20	75
70	63	2.5	43.72	0.325	48.08	91.80	90
80	71	2.5	49.27	0.310	64.02	113.29	115
90	79	2.5	54.83	0.305	80.56	135.39	135
100	86	2.5	59.68	0.300	97.06	156.74	155
110	92	2.5	63.85	0.295	112.96	176.81	175

Cuando el vehículo tiene una velocidad v_f al final de la aplicación de los frenos, y la calle o carretera sobre la cual ocurre el frenado se encuentra sobre una pendiente longitudinal p, la *distancia de frenado* d_f se expresa como:

$$d_f = \frac{{v_0}^2 - v_f^2}{254\,(f_l \pm p)} \tag{4.12}$$

La distancia de frenado es menor en ascenso que en descenso, por lo tanto el valor de p expresado en decimal o tanto por uno es positivo (+) para pendientes ascendentes y negativo (–) para pendientes descendentes.

Si el vehículo se detiene completamente, estos es, $v_f = 0$, la ecuación práctica para el cálculo de la distancia de frenado es:

$$d_f = \frac{{v_0}^2}{254\,(f_l \pm p)} \tag{4.13}$$

De la misma manera, una expresión más general para el cálculo de la distancia de parada es:

$$D_p = 0.694\,(v_0) + \frac{{v_0}^2}{254\,(f_l \pm p)} \tag{4.14}$$

Los valores del coeficiente de fricción longitudinal, f_l, usados en las ecuaciones (4.13) y (4.14) se determinan mediante experimentos de frenado. Conocidas la velocidad inicial v_0 y la pendiente p , se conducen los vehículos de prueba hasta realizar un alto completo, se mide la distancia de frenado requerida d_f, y se resuelve la ecuación para f_l. Los valores de f_l utilizados para fines de proyecto se estiman como conservadores, ya que se toman suponiendo: las peores habilidades en el manejo del vehículo, las condiciones normales del estado de la superficie de rodamiento y las llantas, y la eficiencia común de los vehículos[17].

EJEMPLO 4.6.1

Un tramo de carretera prácticamente a nivel tiene como velocidad límite máxima 80 kilómetros por hora. Si sobre este tramo un conductor viaja a una velocidad de 92 kilómetros por hora, ¿qué distancia adicional a la de proyecto necesitaría para detener su vehículo en caso de un frenado de emergencia?

La distancia de parada para la velocidad de proyecto de 80 km/h, según los datos de la tabla 4.3 y de acuerdo a la ecuación (4.14), es:

$$v_0 = 71 \text{ km/h}, f_l = 0.310, \quad p \approx 0$$

$$D_p = 0.694\,(v_0) + \frac{v_0^2}{254\,(f_l \pm p)}$$

$$= 0.694\,(71) + \frac{(71)^2}{254\,(0.310+0)}$$

$$= 113.29 \text{ m}$$

Igualmente, la distancia de parada necesaria para el vehículo que viaja a 92 km/h es:

$$v_0 = 92 \text{ km/h}, f_l = 0.295, p \approx 0$$

$$D_p = 0.694\,(v_0) + \frac{v_0^2}{254\,(f_l \pm p)}$$

$$= 0.694\,(92) + \frac{(92)^2}{254\,(0.295+0)}$$

$$= 176.81 \text{ m}$$

Esto es, la distancia adicional para detener el vehículo en caso de un frenado de emergencia es:

176.81 – 113.29 = 63.52 m

Es importante advertir que esta distancia adicional puede ser reducida si la habilidad del conductor y las condiciones presentes le permiten controlar la emergencia sin detener su vehículo.

EJEMPLO 4.6.2

El esquema de la figura 4.8, muestra a un vehículo en un frenado de emergencia sobre una carretera que tiene una pendiente descendente del 4%. Inicialmente el vehículo derrapa sobre la calzada en pavimento asfáltico dejando huellas en una longitud de 38 metros y, finalmente, sobre el acotamiento en grava, donde se detuvo deja huellas en una longitud de 15 metros. Por otros experimentos realizados se sabe que el coeficiente de fricción es de 0.50 sobre superficie asfáltica y de 0.60 sobre grava . Se desea conocer la velocidad del vehículo al inicio del frenado de emergencia y en el momento de abandonar la calzada.

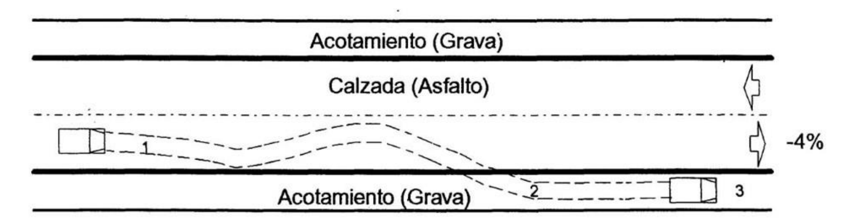


Figura 4.8 *Vehículo en un frenado de emergencia*

De acuerdo a la figura 4.8, sean:

v_1 = velocidad en el punto *1*: empieza el derrapamiento (a calcular)
v_2 = velocidad en el punto 2: abandona la calzada (a calcular)
v_3 = velocidad en el punto 3: se detiene, $v_3 = 0$
d_{f_a} = distancia de frenado (huellas) en la calzada sobre pavimento asfáltico
d_{f_g} = distancia de frenado (huellas) en el acotamiento sobre grava
f_{l_a} = coeficiente de fricción longitudinal sobre asfalto, f_{l_a}= 0.50

f_{l_g} = coeficiente de fricción longitudinal sobre grava, f_{l_g} = 0.60
p = pendiente longitudinal de la carretera, p = –0.04

Velocidad al abandonar la calzada (v_2):

Para el tramo 2-3 sobre el *acotamiento* y de acuerdo a la ecuación (4.12), se tiene:

$$d_f = \frac{v_0^2 - v_f^2}{254\,(f_l \pm p)}$$

$$= d_{f_g}$$

$$= \frac{v_2^2 - v_3^2}{254\,(f_{l_g} - p)}$$

$$= \frac{v_2^2}{254\,(f_{l_g} - p)}$$

De donde, despejando v_2:

$$v_2 = \sqrt{254\,(f_{l_g} - p)\,d_{f_g}}$$

$$= \sqrt{254\,(0.60 - 0.04)\,15}$$

$$= 46.2\ \text{km/h}$$

Velocidad al inicio del frenado de emergencia (v_1):

Para calcular la velocidad del vehículo al inicio del derrapamiento, se utiliza de nuevo la ecuación (4.12), aplicada en el tramo *1-2* sobre la *calzada*, así:

$$d_f = \frac{v_0^2 - v_f^2}{254\,(f_l \pm p)}$$

$$= d_{f_a}$$

$$= \frac{v_1^2 - v_2^2}{254\,(f_{l_a} - p)}$$

Despejando v_1, queda:

$$v_1 = \sqrt{254\,(f_{l_a} - p)\, d_{f_a} + v_2^2}$$

$$= \sqrt{254\,(0.50 - 0.04)\, 38 + (46.2)^2}$$

$$= 81.1 \text{ km/h}$$

Ejemplo 4.6.3

El esquema de la figura 4.9 se refiere a una prueba de frenados de emergencia, para los cuales se tiene que:

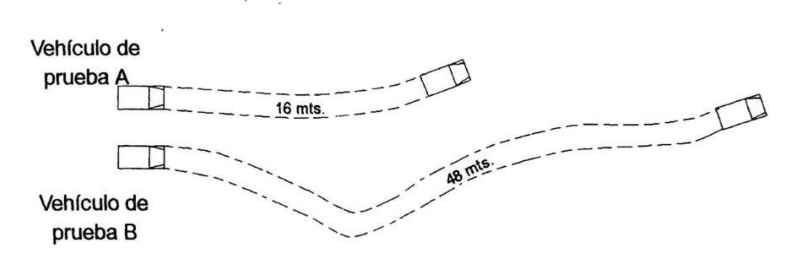


Figura 4.9 *Vehículos de prueba en frenados de emergencia*

El vehículo de prueba *A* deja huellas sobre la superficie de rodamiento en una longitud de 16 metros, desde una velocidad de 48 km/h hasta detenerse. El vehículo de prueba *B* también es sometido a frenado sobre la misma superficie de rodamiento, dejando huellas en una longitud de 46 metros hasta detenerse. Se quiere conocer la velocidad inicial del segundo vehículo, sabiendo que el experimento se realizó sobre una pendiente longitudinal ascendente del 2%.
Para la figura 4.9, sean:

v_{0_A} = velocidad inicial del vehículo de prueba *A*, $v_{0_A} = 48$ km/h
v_{f_A} = velocidad final del vehículo de prueba *A*, $v_{f_A} = 0$
v_{0_B} = velocidad inicial del vehículo de prueba *B* (a calcular)
v_{f_B} = velocidad final del vehículo de prueba *B*, $v_{f_B} = 0$
d_{f_A} = distancia de frenado (huellas) del vehículo de prueba *A*, $d_{f_A} = 16$ m

d_{f_B} = distancia de frenado (huellas) del vehículo de prueba B, $d_{f_B} = 48$ m

p = pendiente longitudinal de la superficie de prueba, $p = +0.02$

La velocidad inicial del vehículo de prueba B, v_{0_B}, se calcula a partir de la ecuación (4.12):

$$d_f = \frac{v_0^2 - v_f^2}{254\,(f_l \pm p)}$$

$$= d_{f_B}$$

$$= \frac{{v_{0_B}}^2 - {v_{f_B}}^2}{254\,(f_l + p)}$$

$$= \frac{{v_{0_B}}^2}{254\,(f_l + p)}$$

$$v_{0_B} = \sqrt{254\,(f_l + p)\,d_{f_B}}$$

En la expresión anterior no se conoce el coeficiente de fricción longitudinal f_l. Este se puede calcular con la misma ecuación (4.12), aplicada al vehículo de prueba A, así:

$$d_f = \frac{v_0^2 - v_f^2}{254\,(f_l \pm p)}$$

$$= d_{f_A}$$

$$= \frac{{v_{0_A}}^2 - {v_{f_A}}^2}{254\,(f_l + p)}$$

$$= \frac{{v_{0_A}}^2}{254\,(f_l + p)}$$

$$f_t = \frac{v_{0_A}^2}{254\,(d_{f_A})} - p$$

$$= \frac{(48)^2}{254\,(16)} - 0.02$$

$$= 0.547$$

Por lo tanto, en la expresión planteada para v_{0_B}, se tiene:

$$v_{0_B} = \sqrt{254\,(f_l + p)\,d_{f_B}}$$

$$= \sqrt{254\,(0.547 + 0.02)\,48}$$

$$= 83.1 \text{ km/h}$$

Puede observarse, que este ejemplo indica un método para determinar coeficientes de fricción longitudinal entre llantas y superficie de rodamiento para el caso de frenados de emergencia. A su vez, tanto este ejemplo como el anterior, también presentan procedimientos para determinar las velocidades aproximadas con las que circulan los vehículos comprometidos en accidentes o colisiones y de esta manera, definir responsabilidades o culpabilidades.

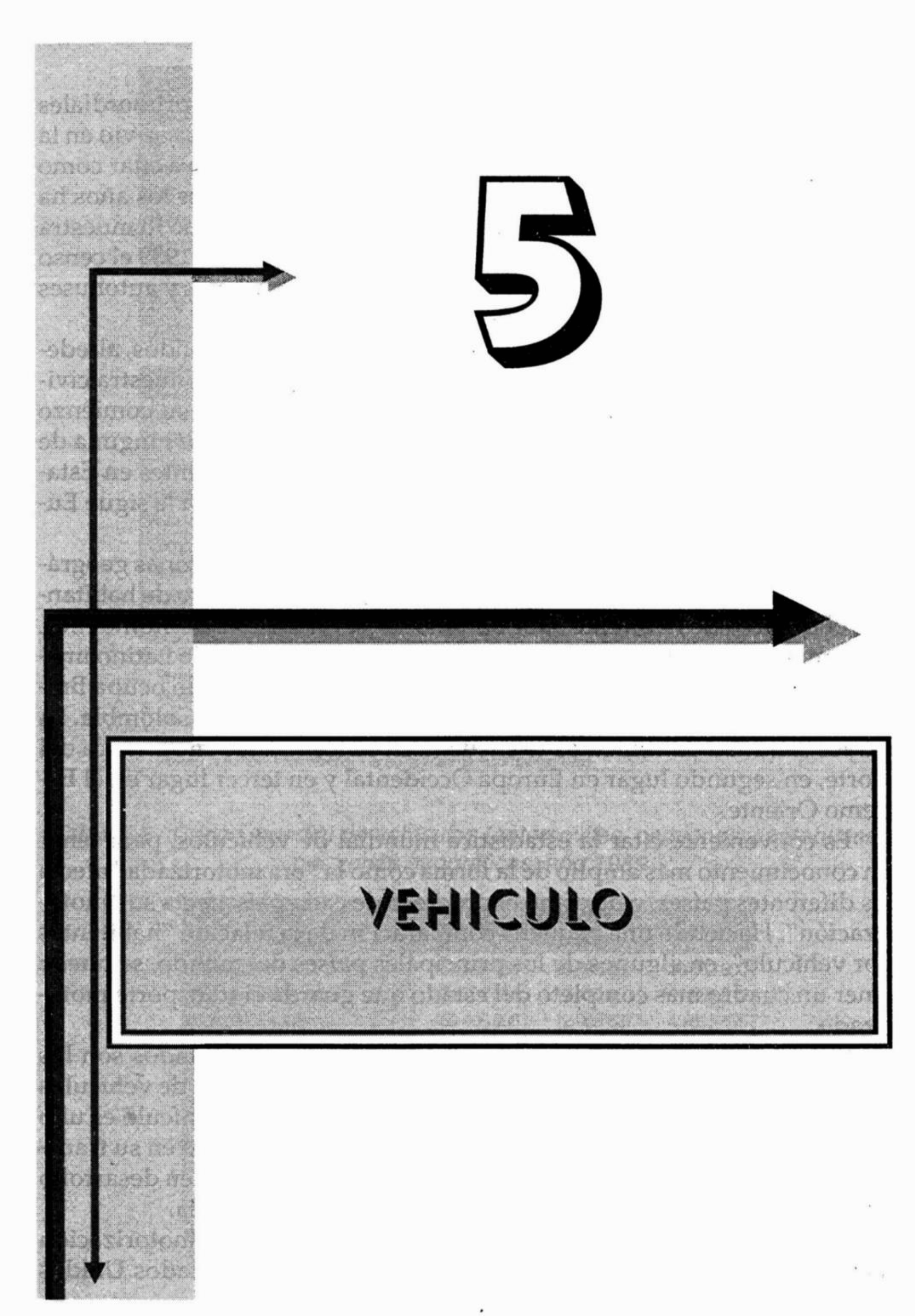
4.7 PROBLEMAS PROPUESTOS

√ 4.7.1 Un conductor que viaja a 86 km/h sobre un pavimento mojado, observa al frente un obstáculo sobre la calzada a una distancia de 135 metros, y detiene su vehículo justamente a tiempo al lado del obstáculo. Suponiendo un tiempo de percepción-reacción normal, determine la pendiente de la rasante.

4.7.2 La velocidad límite máxima en un tramo de carretera a nivel es de 80 km/h. Un conductor que circula en dicho tramo sobre pavimento mojado ve a 135 metros una señal de protección de una obra, sin embargo, su vehículo tiene una colisión con ella a una velocidad de 55 km/h. Determine en cuánto ha sobrepasado la velocidad límite.

4.7.3 Un vehículo que se encontraba en un frenado de emergencia, derrapa inicialmente en un puente sobre una superficie de concreto ($f_{l_c} = 0.70$) dejando huellas en una longitud de 20 metros. En seguida, al salir del puente, derrapa sobre la superficie asfáltica ($f_{l_a} = 0.50$) de la calzada en una longitud de 30 metros. Finalmente, luego de salirse de la calzada, derrapa en el acotamiento sobre grava ($f_{l_g} = 0.60$) dejando huellas en una longitud de 15 metros, donde se detuvo.

1) Dibuje un esquema de la situación presentada.
2) Determine la velocidad del vehículo al inicio del derrapamiento, si éste circulaba en un tramo a nivel.
3) Determine la velocidad al inicio del derrapamiento si el vehículo circulaba en una pendiente descendente del 5%.
4) Lo mismo si circulaba en una pendiente ascendente del 5%.
5) Comente y concluya comparando los resultados anteriores.



5

VEHICULO

5.1 REGISTRO MUNDIAL

Debido a que el vehículo es uno de los tres elementos primordiales el tránsito, es necesario estudiarlo con cierto detalle. Ya se vio en la primera parte el desarrollo que ha tenido; ahora se va a citar como parte principal de este capítulo, la evolución que a través de los años ha experimentado el número de vehículos en el mundo, tal como lo muestra la tabla 5.1. Igualmente, la tabla 5.2 presenta para el año de 1989 el censo mundial de vehículos en términos de automóviles, camiones y autobuses para las diferentes zonas geográficas del mundo.

En el año de 1989 existían en el mundo, en números redondos, alrededor de 407 millones de vehículos, que se han incorporado a nuestra civilización en lo que ha transcurrido del siglo, ya que desde su comienzo empezaron a circular los primeros vehículos. Se observa que ninguna de las zonas geográficas alcanza el número de vehículos existentes en Estados Unidos, que en 1989 era de 140 655 000. En esta jerarquía le sigue Europa Occidental con 133 199 533.

La tabla 5.3, presenta en forma particular las diferentes zonas geográficas y de cada uno de los países, en el año de 1989, el número de habitantes, el número de habitantes por automóvil y el número de automóviles, camiones y autobuses. En ella se observa que en los países de Latinoamérica, en cuanto a número total de vehículos, el primer lugar lo ocupa Brasil, el segundo México, siguiéndole Argentina, Venezuela y Colombia. La mayor cantidad de vehículos se encuentran concentrados en América del Norte, en segundo lugar en Europa Occidental y en tercer lugar en el Extremo Oriente.

Es conveniente citar la estadística mundial de vehículos, para tener un conocimiento más amplio de la forma como la "era motorizada" afecta los diferentes países, o de cómo el progreso de cada país afecta su "motorización". Haciendo una pequeña comparación de la relación "habitantes por vehículo", en algunos de los principales países del mundo, se puede tener un cuadro más completo del estado que guarda el transporte motorizado.

Se puede sacar una conclusión: los países más adelantados son los que han podido incorporar a su economía la mayor cantidad de vehículos y casi se puede afirmar que la relación de habitantes por vehículo es uno de los indicadores para apreciar el progreso de un país, tanto en su transporte, como en su economía en general. Sin duda, los países en desarrollo tendrán una relación de habitantes por vehículo más elevada.

Así, se puede observar que los países con los grados de motorización más altos son: Guam con 1.3 habitantes por automóvil, Estados Unidos

Tabla 5.1 *Evolución del número de automóviles en el mundo*

Zona	1939[1]	1950[1]	1960[1]	1961[1]
Africa	692 974	1 114 090	2 423 500	2 657 000
América Latina	881 277	1 722 059	4 087 000	4 502 900
Canadá	1 427 923	2 194 929	4 941 000	5 167 250
Estados Unidos	30 294 226	43 773 962	73 768 565	75 826 514
Asia y Medio Oriente	695 783	948 854	3 452 700	4 143 200
Europa	9 436 293	11 872 022	24 670 000	28 343 100
Pacifico	1 200 808	1 616 979	3 325 900	3 556 150
Europa Oriental	–	–	4 872 600	5 187 100
Totales	44 629 284	63 242 895	121 541 265	129 383 214

Zona	1963[2]	1964[3]	1975	1989[5]
Africa	2 915 428	3 241 053	5 288 172	7 567 700
América Latina	5 521 577	5 776 319	15 909 804	25 540 087
Canadá	5 643 423	6 037 469	9 870 620	11 800 000
Estados Unidos	82 058 000	86 193 000	133 727 000	140 655 000
Asia y Medio Oriente	5 160 520	5 755 651	34 868 223	48 225 888
Europa	36 286 844	43 841 664	97 437 705	133 199 533
Pacifico	3 906 171	4 249 030	7 803 933	9 080 150
Europa Oriental	6 081 004	6 658 699	15 936 000[4]	30 202 248
Totales	147 572 967	161 752 885	320 841 457	406 270 606

FUENTE:
1 Revista *El Automóvil Internacional*.
2 *World Statistics Automotive News* (Almanac Issue).
3 International Road Federation, Washington.
4 Corresponde a 1974, no incluye China, *Almanaque Mundial 1974*.
5 Revista *Automóvil Internacional*, Censo Mundial de Automotores 1989.

Tabla 5.2 *Censo mundial de vehículos (automóviles, camiones y autobuses) por zonas geográficas, año 1989*

Zona Geográfica	Automóviles	Camiones y autobuses	Suma
America del Norte	157 865 000	48 798 000	20 663 000
Europa Occidental	134 207 314	17 478 903	151 686 217
Europa Oriental	30 406 008	12 909 627	43 315 635
Pacífico	9 089 946	2 459 958	11 549 904
Extremo Oriente	40 702 601	32 528 016	73 230 617
Caribe	2 199 875	557 132	2 857 007
Medio Oriente	7 600 000	4 243 070	11 843 070
Africa	7 531 653	4 060 109	11 591 762
América Central y del Sur	23 676 669	8 944 801	32 621 470
Total	408 157 354	129 692 422	535 092 769

FUENTE:
Revista *Automóvil Internacional*, Censo Mundial de Automotores 1989.

Tabla 5.3 Registro mundial de vehículos, año de 1989

AMERICA DEL NORTE

País	Hab. (miles)	Prom. Hab. por auto	Automóviles	Camiones y autobuses	Suma
Canadá	26 311	2.2	11 800 000	3 600 000	15 400 000
EE. UU.	245 231	1.7	140 655 000	42 813 000	183 468 000
México	86 366	16.0	5 410 000	2 385 000	7 795 000
Total	3 579 082	2.3	157 865 000	48 798 000	206 663 000

EUROPA OCCIDENTAL

País	Hab. (miles)	Prom. Hab. por auto	Automóviles	Camiones y autobuss	Suma
Austria	7 586	2.7	2 784 792	271 770	3 056 562
Bélgica y Luxemburgo	10 254	2.7	3 735 844	378 233	4 114 077
Dinamarca	5 156	3.2	1 588 116	301 668	1 889 784
Finlandia	4 964	2.8	1 795 908	238 258	2 034 166
Francia	55 994	2.5	22 520 000	4 570 000	27 090 000
Alemania Occidental	6 977	2.4	28 190 522	2 858 682	31 049 204
Gibraltar	39	3.5	11 000	2 000	13 000
Grecia	10 141	7.0	1 437 733	675 000	2 112 733
Islandia	248	1.9	133 743	16 754	150 497
Irlanda	3 550	4.7	749 459	127 417	876 876
Italia	57 558	2.4	23 500 000	1 990 000	25 490 000
Malta	371	4.1	89 504	17 215	106 719
Holanda	14 790	2.8	5 250 647	538 168	5 788 815
Noruega	4 202	2.6	1 621 955	313 873	1 935 828
Portugal	10 460	7.3	1 427 000	422 000	1 849 000
España	39 417	3.7	10 787 424	2 073 404	12 860 828
Suecia	8 401	2.4	3 482 656	281 387	3 764 043
Suiza	6 661	2.4	2 745 491	250 827	2 996 318
Inglaterra	57 028	2.7	21 347 739	3 151 886	24 499 625
Total	363 697	2.7	134 207 314	17 478 903	151 168 217

EUROPA ORIENTAL

País	Hab. (miles)	Prom. hab. por auto	Automóviles	Camiones y autobuses	Suma
Bulgaria	8 973	7.9	1 138 000	146 000	1 284 000
Checoslovaquia	15 659	5.2	2 990 987	460 691	3 451 678
Alemania Oriental	16 586	4.8	3 462 000	279 000	3 741 000
Hungría	10 567	5.9	1 789 562	222 674	2 012 236
Polonia	38 170	8.4	4 519 094	1 001 066	5 520 160
Rumania	23 153	75.4	307 000	192 000	499 000
U.R.S.S.	288 742	22.8	12 888 000	9 367 000	22 255 000
Yugoslavia	23 725	7.7	3 089 605	846 024	3 935 629
Total	425 575	14.1	30 184 248	12 514 455	42 391 703

Tabla 5.3 Registro mundial de vehículos, año de 1989 (Continuación)

PACIFICO

País	Hab. (miles)	Prom. hab. por auto	Automóviles	Camiones y autobuses	Suma
Australia	16 452	2.3	7 243 600	1 977 500	9 221 100
Islas Fidji	766	25.5	30 000	25 000	55 000
Polinesia	195	5.3	37 000	15 000	52 000
Guam	185	1.3	139 000	34 000	173 000
Nueva Caledonia	198	3.9	50 741	17 450	68 191
Nueva Zelanda	3 370	2.2	1 550 000	315 000	1 865 000
Papua Nueva Guinea	3 735	124.5	30 000	70 000	100 000
Samoa	–	–	5 000	4 000	9 000
Trust Territories *	160	40.0	4 000	2 000	6 000
Total	25 061	2.8	9 089 341	2 459 950	11 549 291

* Recibe los siguientes nombres:
Territorios en fideicomiso; en tutela
Territorios en custodia
Territorios bajo tutela
Fideicomiso de la ONU

EXTREMO ORIENTE

País	Hab. (miles)	Prom. hab. por auto	Automóviles	Camiones y autobuses	Suma
Afganistán	14 825	478.2	31 000	25 000	56 000
Bangladesh	114 718	3 584.9	32 000	34 000	66 000
Brunei	245	5.1	68 000	14 000	82 000
Birmania	40 452	1 498.2	27 000	42 000	69 000
China	1 112 299	1 235.9	900 000	3 425 000	4 325 000
Hong Kong	5 705	32.0	178 234	153 991	332 225
India	833 422	511.9	1 628 121	1 480 374	3 108 495
Indonesia	18 7651	194.3	966 000	1 133 000	2 099 000
Japón	123 220	4.0	30 776 243	21 673 912	52 450 155
Corea del Sur	43 347	35.8	1 211 222	987 173	2 198 396
Malasia	16 727	14.3	1 172 000	351 000	1 523 000
Pakistan	110 407	241.6	457 000	308 000	765 000
Filipinas	64 907	172.3	376 646	506 000	882 646
Singapur	2 674	10.6	251 414	237 000	488 414
Sri Lanka	16 881	108.8	155 194	139 206	294 400
Taiwan	20 233	12.8	1 579 121	524 144	2 103 265
Tailandia	55 524	68.0	816 693	1 422 773	2 239 466
Total	2 753 341	67.0	40 625 888	32 456 574	73 082 462

Tabla 5.3 Registro mundial de vehículos, año de 1989 (Continuación)

CARIBE

País	Hab. (miles)	Prom. hab. por auto	Automóviles	Camiones y autobuses	Suma
Bahamas	247	3.6	69 000	14 000	83 000
Barbados	258	7.4	35 000	8 000	43 000
Bermuda	58	3.2	18 339	3 027	21 366
Cuba	10 450	555.0	19 000	33 000	52 000
Rep. Dominicana	7 106	62.3	114 000	72 000	186 000
Guadalupe	314	4.3	79 000	31 000	110 000
Haití	6 322	197.6	32 000	21 000	53 000
Jamaica	2 485	26.7	93 000	16 000	109 000
Martinica	331	3.9	84 000	28 000	112 000
Antillas Holandesas	183	2.7	68 000	15 000	83 000
Puerto Rico	3 301	2.5	1 295 000	227 000	1 522 000
Trinidad y Tobago	1 244	5.1	244 000	79 000	323 000
Islas Vírgenes	109	2.1	51 000	11 000	62 000
Total	32 435	14.7	2 201 339	558 027	2 759 366

MEDIO ORIENTE

País	Hab. (miles)	Prom. hab. por auto	Automóviles	Camiones y autobuses	Suma
Bahrein	497	4.6	109 000	3 000	112 000
Chipre	700	4.2	164 712	65 000	229 712
Egipto	54 778	128.9	425 000	248 000	673 000
Irán	53 866	34.6	1 557 000	551 000	2 108 000
Iraq	18 074	72.0	251 000	269 000	520 000
Israel	4 069	6.7	605 098	193 801	798 899
Jordania	2 958	21.7	136 000	68 000	204 000
Kuwait	2 008	3.4	583 000	206 000	789 000
Líbano	3 301	7.3	452 000	50 000	502 000
Omán	1 305	11.6	112 063	62 725	174 788
Qatar	469	5.3	88 000	39 000	127 000
Arabia Saudita	16 108	11.7	1 378 000	1 477 000	2 855 000
Siria	12 010	102.2	117 570	138 603	256 173
Turquía	55 356	42.3	1 309 557	643 941	1 953 498
Emir. Arabes Unidos	2 115	7.5	281 000	153 000	434 000
Yemen del Norte	6 942	347.1	20 000	59 000	79 000
Temen del Sur	2 504	227.6	11 000	16 000	27 000
Total	237 060	31.2	7 600 000	4 243 070	11 843 070

Tabla 5.3 Registro mundial de vehículos, año de 1989 (Continuación)

AFRICA

País	Hab. (miles)	Prom. hab. por auto	Automóviles	Camiones y autobuses	Suma
Argelia	24 946	34.4	725 000	480 000	1 205 000
Angola	8 534	70.0	122 000	41 000	163 000
Benin	4 664	121.0	22 000	12 000	34 000
Botswana	1 232	88.0	14 000	24 000	38 000
Burkina Fasq	8 707	791.0	11 000	13 000	24 000
Burundi	5 458	692.0	8 000	10 000	18 000
Camerún	10 817	120.2	90 000	79 000	169 000
Rep. Central Africana	2 808	200.4	14 000	5 000	20 000
República del Congo	2 226	25.7	28 000	20 000	48 000
Egipto	48 762	1 157.5	43 000	21 000	64 000
Ghana	14 786	254.9	58 000	46 000	104 000
Costa de Marfil	11 619	69.2	168 000	91 000	259 000
Kenia	24 346	183.1	133 000	149 000	282 000
Liberia	2 556	319.5	8 000	3 000	11 000
Libia	4 080	9.1	448 000	322 000	770 000
Madagascar	11 430	238.1	48 000	43 000	91 000
Malawi	8 737	582.5	15 000	16 000	31 000
Malí	8 918	424.7	21 000	8 000	29 000
Malagasia	1 977	247.1	8 000	5 000	13 000
Mauricio	1 120	32.0	34 000	14 000	48 000
Marruecos	25 606	45.3	565 000	227 000	792 000
Mozambique	14 275	169.9	84 000	24 000	104 000
Níger	7 448	465.5	16 000	18 000	34 000
Nigeria	115 316	149.2	773 000	608 000	1 379 000
Reunión	586	6.9	144 000	50 000	194 000
Senogambia	8 306	92.3	90 000	28 000	118 000
Sierra Leona	4 064	178.7	23 000	7 000	30 000
Sudáfrica	38 509	12.4	3 114 649	1 126 313	4 240 962
Sudán	24 476	223.9	109 312	54 428	168 740
Swazilandia	756	50.4	15 000	15 000	30 000
Tanzania	25 206	572.9	44 000	52 000	96 000
Togo	3 449	138.0	25 000	15 000	40 000
Túnez	7 916	46.3	171 000	177 000	348 000
Uganda	17 008	1 335.1	12 739	12 632	25 371
Zaire	34 279	364.7	94 000	86 000	180 000
Zambia	7 875	82.0	96 000	67 000	163 000
Zimbabwe	10 119	58.5	173 000	80 000	253 000
Total	553 895	73.5	7 531 653	4 060 109	11 614 073

FUENTE:
Revista *Automóvil Internacional*, Censo Mundial de Automotores 1989.

Tabla 5.3 Registro mundial de vehículos, año de 1989 (Continuación)

AMERICA CENTRAL Y DEL SUR

País	Hab. (miles)	Prom. hab. por auto	Automóviles	Camiones y autobuses	Suma
Argentina	31 914	7.6	4 186 440	1 493 560	5 680 000
Belice	176	58.7	3 000	4 000	7 000
Bolivia	6 589	87.9	75 000	136 000	211 000
Brasil	160 750	15.8	9 527 000	2 434 000	11 961 000
Chile	12 827	19.2	669 097	297 019	966 116
Colombia	31 945	49.5	645 000	617 000	1 262 000
Costa Rica	2 954	35.0	82 000	72 000	154 000
Ecuador	10 262	148.8	68 983	162 563	231 546
El Salvador	5 125	90.5	52 000	65 000	117 000
Guyana Francesa	95	4.0	24 000	7 000	31 000
Guatemala	9 117	96.0	95 000	93 000	188 000
Guyana	765	34.8	22 000	9 000	31 000
Honduras	5 104	189.0	27 000	52 000	79 000
Nicaragua	3 503	118.0	31 000	28 000	59 000
Panamá	2 373	13.4	175 708	49 169	225 877
Paraguay	4 522	75.4	60 000	30 000	90 000
Perú	21 448	54.9	390 520	220 603	611 123
Surinam	401	14.9	27 000	11 000	8 000
Uruguay	2 989	17.0	167 000	810 000	248 000
Venezuela	19 263	12.0	1 601 000	573 000	2 174 000
Total	408 488	17.3	23 678 669	8 944 804	32 159 662

con 1.7 e Islandia con 1.9. A su vez, los países con los menores grados de motorización son: Bangladesh con 3 584.9 habitantes por automóvil, Birmania con 1 498.2 y Uganda con 1 385.1.

En América Central y del Sur, los países con mayor motorización son: Guyana Francesa con 4.0 habitantes por automóvil, Argentina con 7.6 y Venezuela con 12.0. Los países con menor motorización son: Honduras con 189.0 habitantes por automóvil, Ecuador con 148.8 y Bolivia con 87.9. México tiene un promedio de 16.0 habitantes por automóvil y Colombia 49.5.

En la tabla 5.4 se muestra, a manera de comparación, la relación de habitantes por vehículo, incluyendo automóviles, autobuses y camiones, en los años de 1974 y 1989, en los veinte países con mayor número de vehículos. Para hacer una comparación se tomaron los veinte países con mayor número de vehículos en el año de 1974, aunque para el año 1989 dichas posiciones varíen un poco. Se observa, en cierta manera, que Esta-

Tabla 5.4 *Relación de habitantes por vehículo, incluyendo automóviles, autobuses y camiones, en 1974 y 1989, en los veinte países del mundo con mayor número de vehículos*

País	1974					1989				
	Automóviles	Camiones y autobuses	Suma	Hab. (miles)	Hab/veh	Automóviles	Camiones y autobuses	Suma	Hab. (miles)	Hab/veh
Estados Unidos	104 898 256	25 044 831	129 943 087	209 000	1.6	140 655 000	42 813 000	183 468 000	245 231	1.8
Alemania Occidental	17 356 276	1 302 963	18 659 239	61 990	3.3	28 190 522	2 858 682	31 049 204	66 977	2.5
Japón	15 853 548	10 927 758	26 781 306	110 330	4.1	30 776 243	21 673 912	52 450 155	123 220	4.0
Francia	15 100 000	2 334 000	17 434 000	52 000	3.0	22 520 000	4 570 000	17 090 000	55 994	2.5
Italia	14 295 040	1 140 923	15 435 963	55 643	3.6	23 500 000	1 990 000	25 490 000	57 558	2.4
Gran Bretaña	13 947 934	1 916 466	15 864 400	56 900	3.6	21 347 739	3 151 886	24 499 625	57 028	2.7
Canadá	8 472 224	1 999 900	10 472 124	22 446	2.1	11 800 000	3 600 000	15 400 000	26 311	2.2
Brasil	4 584 142	1 517 681	6 101 823	105 000	17.0	9 527 000	2 434 000	11 961 000	160 750	15.8
España	4 311 392	987 995	5 299 387	35 332	6.7	10 787 424	2 073 404	12 860 828	39 417	3.7
URSS	3 781 700	5 506 500	8 288 200	250 900	30.0	12 888 000	9 387 000	22 075 000	288 742	22.8
Países Bajos	3 440 000	357 000	3 797 000	13 700	3.6	5 250 647	538 168	5 788 815	14 790	2.8
Suecia	2 683 885	170 280	2 809 165	8 177	2.9	2 482 656	281 387	3 764 043	8 401	2.4
Bélgica	2 502 158	316 861	2 819 019	9 788	3.5	3 735 844	378 233	4 114 077	10 254	2.7
Argentina	2 160 036	965 868	3 125 903	24 966	8.0	4 186 440	1 493 560	5 680 000	31 914	7.6
Rep. de Sudáfrica	1 950 347	783 476	2 733 823	24 920	9.1	3 114 649	1 126 313	4 240 962	38 509	12.4
México	1 947 534	744 738	2 692 272	56 200	21.0	5 410 000	2 385 000	7 795 000	86 366	16.0
Suiza	1 723 024	176 487	1 899 511	6 670	3.5	2 745 491	250 827	2 996 318	6 611	2.4
Alemania Oriental*	1 702 882	511 304	2 214 186	17 170	7.8	3 462 000	279 000	3 741 000	16 586	4.8
Austria	1 635 927	151 544	1 787 471	7 456	4.2	2 784 792	271 779	3 056 571	7 586	2.7
Yugoslavia	1 330 761	155 385	1 486 146	21 155	14.0	3 089 605	846 024	3 935 629	23 725	7.7

* Incluye Berlín Oriental

FUENTE:
Asociación de Fabricantes de Vehículos Automotores de los Estados Unidos, *Censo Mundial de Vehículos 1989.*

dos Unidos, Alemania Occidental, Japón, Francia e Italia, siguen siendo los países que van a la vanguardia en el nivel de motorización. Para resaltar, durante estos quince años aumentan la motorización los países de Yugoslavia, España y la URSS, aumentos del orden del 50%. Disminuye la motorización la República de Sudáfrica.

En conclusión, es indispensable que cada país facilite su transporte, que lo mecanice al máximo para que progrese, para que puedan transportarse los bienes de consumo, desde las fuentes de producción hasta los mercados; para que los bienes manufacturados puedan ir a los pueblos más apartados; para que las comodidades se puedan distribuir en todo el país, etc. Aún se puede reducir más la actual relación de habitantes por vehículo en la mayoría de los países. Entonces, no sólo es inevitable que aumente el número de vehículos cada año, sino que es lo deseable, lo conveniente. Por lo tanto, el segundo elemento componente del tránsito, *El Vehículo*, irremediablemente va en aumento.

5.2 ESTADISTICA DE MEXICO

Según la Dirección General de Estadísticas de México, en cuanto a población y número de vehículos, se reportan para toda la República los siguientes datos:

En 1930, con 16 588 522 habitantes, había 88 443 vehículos, lo cual da una relación de 187.6 habitantes por vehículo. Vino la depresión económica, que se prolongó hasta 1933 bajando el número de vehículos, por lo que en 1932 se tuvo una relación elevada de 193.0 habitantes por vehículo. De allí en adelante empezó a descender, con algunas altas y bajas, acusando 150.0 habitantes por vehículo en 1938. Hasta 1946, la cifra de habitantes por vehículo era superior a 100.0, específicamente 114.0 en ese año. Desde entonces ha bajado a una cifra menor de 100.0. En 1975, con aproximadamente 60 145,000 habitantes y 3 586,000 vehículos había una relación de 16.8 habitantes por vehículo. Hacia 1979 la relación había bajado a 12.0, y ya en 1989 la relación era de 16.0. Todos estos cambios graduales en el tiempo, ponen de manifiesto el nivel de motorización cada vez más elevado en la República Mexicana.

Por otra parte, en la tabla 5.5, se muestra el número anual de vehículos de motor en el Distrito Federal, desde 1925 a 1990. De 1925 a 1959, los autobuses experimentaron fluctuaciones con tendencias a incrementarse. De 1960 a 1982, se da un crecimiento constante en el número total de vehículos. A consecuencia de la crisis vivida en México en los años 1982 y 1983, se presenta un descenso bastante representativo en el número de vehículos, que en los años siguientes presenta una recuperación lenta. Se

observa que el aumento de los automóviles es, en términos generales, constante, con descensos en 1926 y 1927, denotando también la crisis de 1927, aunque no es muy representativa. Para 1975 se rebasa el millón de automóviles que, a excepción de 1976, continúa en ascenso hasta llegar a los dos millones en 1990.

Con los camiones, también se nota un ascenso, con ciertas fluctuaciones, siendo éstas más notorias en los primeros años. En cuanto a las motocicletas para el año 1986 se aprecia una caída impresionante, ya que según las cifras señalan que de 32 499 bajan a 2 888 para 1987; y de 1988 en adelante se vuelve a dar un crecimiento, pero sin el auge alcanzado en el año 1986.

Tabla 5.5 Vehículos de motor en el Distrito Federal, anual

Años	Total de vehículos	Automóviles	Autobuses	Camiones	Motocicletas
1925	21 209	15 063	2 622	3 059	465
1926	19 902	13 705	2 281	3 454	462
1927	20 664	13 925	1 988	4 492	259
1928	22 753	16 056	1 684	4 697	316
1929	28 453	20 154	1 887	6 152	260
1930	31 994	22 487	2 071	7 068	368
1931	34 070	23 916	2 120	7 581	453
1932	36 858	25 846	2 122	8 360	530
1933	42 100	29 444	2 287	9 700	669
1934	45 592	31 844	2 330	10 658	760
1935	29 158	22 686	1 616	4 502	354
1936	34 699	26 421	1 856	5 844	578
1937	38 112	28 465	1 786	6 844	1 017
1938	40 761	30 361	1 809	7 252	1 339
1939	44 912	33 450	2 008	7 875	1 579
1940	48 134	35 520	2 255	8 616	1 743
1941	55 322	41 263	2 183	9 991	1 885
1942	61 362	45 278	2 634	11 466	1 984
1943	56 570	45 641	2 493	9 863	1 573
1944	58 652	46 277	2 562	8 150	1 713
1945	59 549	45 304	2 621	9 809	1 815
1946	61 868	46 605	2 885	10 504	1 874
1947	65 365	48 543	3 235	11 565	2 022
1948	70 732	51 708	4 208	12 528	2 288
1949	72 812	53 145	4 221	13 068	2 358
1950	74 327	55 014	4 280	12 895	2 138
1951	107 137	78 104	5 115	21 706	1 211
1952	127 076	93 576	6 282	22 717	3 501

Tabla 5.5 Vehículos de motor en el Distrito Federal, anual (Continuación)

Años	Total de vehículos	Automóviles	Autobuses	Camiones	Motocicletas
1953	131 405	96 931	7 174	23 477	3 823
1954	137 063	101 684	6 920	24 347	4 142
1955	150 584	110 339	6 958	27 685	5 602
1956	163 572	116 512	6 998	32 240	7 822
1957	185 492	131 883	7 391	37 445	8 773
1958	209 904	151 691	7 402	40 229	10 582
1959	236 844	174 790	7 453	42 926	11 675
1960	248 048	192 557	6 910	35 161	13 410
1961	272 161	211 587	6 939	42 744	10 891
1962	283 416	219 984	6 993	44 005	12 434
1963	313 474	246 094	6 993	46 593	13 894
1964	353 595	286 322	6 993	48 081	12 499
1965	379 204	313 055	6 993	45 711	13 445
1966	407 722	347 562	6 996	48 598	14 569
1967	482 114	396 143	7 333	60 661	18 009
1968	492 132	396 143	7 303	65 032	23 654
1969	624 804	514 258	7 398	69 742	33 406
1970	717 672	589 615	9 890	76 500	41 667
1971	786 426	650 089	10 015	77 482	48 840
1972	881 156	728 519	10 161	86 640	55 836
1973	956 903	790 586	10 332	93 961	62 024
1974	1 089 575	913 634	10 533	97 607	67 708
1975	1 199 471	1 004 154	12 898	107 954	74 465
1976	1 136 235	979 188	13 069	108 030	35 948
1977	1 232 868	1 059 354	13 244	117 823	42 447
1978	1 423 283	1 219 002	13 735	139 860	50 686
1980	1 869 808	1 601 867	14 487	187 205	66 249
1981	1 996 743	1 706 435	15 047	204 248	71 013
1982	1 802 605	1 542 004	19 401	201 200	40 000
1983	1 772 428	1 542 868	12 360	180 921	36 279
1984	1 585 204	1 377 432	12 061	164 563	31 148
1985	1 590 181	1 416 310	11 661	137 877	24 333
1986	1 588 208	1 434 186	10 279	111 244	32 499
1987	1 692 726	1 538 673	12 342	138 823	2 888
1988	1 702 071	1 539 357	12 405	140 589	9 720
1989	1 933 320	1 750 556	12 340	159 078	11 346
1990	2 274 614	2 044 940	10 864	196 489	22 321

FUENTE:
Dirección General de Estadística, SPP.
Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 1989, C.G.T.

Como una información adicional las tablas 5.6 y 5.7 muestran las ventas de vehículos producidos en México, para el período de 1985 a 1989.

Tomando como referencia el año 1985, en la tabla 5.6 se observa un descenso en la venta de automóviles en los años de 1986, 1987 y 1988, para luego mostrar un gran incremento en el año 1990. De la misma manera, las ventas de autobuses descienden fuertemente sobre todo en 1987, sin que para 1990 se hayan recuperado las ventas que se tenían en 1985. En general, se observa cómo la crisis de 1987 afectó gravemente las ventas de vehículos en la República Mexicana, y que la mejor recuperación en este sentido, la muestran los automóviles, seguido de los autobuses, sobre todo a partir de 1990.

En cuanto a ventas acumuladas de vehículos por categoría, populares, compactos, de lujo y deportivos , de acuerdo a la tabla 5.7, se observa que para los autos populares el año más crítico fue 1987. Para los vehículos compactos, también fue drástico el descenso en ventas en el año 1987, siendo el 40% menor en relación con las ventas de 1985. En los vehículos deportivos es donde más se marca la crisis de las ventas, puesto que en 1987 bajan un 70% en relación con las del año 1985. Como se puede ver el período citado refleja la crisis que sufrió el país y cómo se ha venido recuperando lentamente.

Tabla 5.6 Ventas totales de automóviles, camiones y autobuses, en México, 1985-1990

Tipo	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Automóviles	242 187	160 670	154 152	210 066	274 505	352 608
Camiones	147 638	96 945	93 575	131 245	170 678	196 187
Autobuses	1824	1 220	217	608	680	1551
Total	319 649	258 835	247 944	341 919	445 863	550 306

FUENTE:
Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, *La Economía Mexicana en Cifras.*

Tabla 5.7 Ventas acumuladas de vehículos por categoría, en México, 1985-1990

Categoría	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Populares	135 489	93 446	92 939	110 053	146 591	213 590
Compactos	74 028	51 199	45 237	78 916	104 322	110 213
De Lujo	23 549	11 565	13 230	17 209	19 936	19 569
Deportivos	9 121	4 460	2 746	3 888	3 656	5 431
Total	242 187	160 670	154 152	210 060	274 505	348 803

FUENTE:
Nacional Financiera, *La Economía Mexicana en Cifras*, 12a. ed., 1991.

5.3 INSPECCION MECANICA DEL VEHICULO

Una inspección mecánica rigurosa de los vehículos, trae ciertas ventajas al estado general de los vehículos, como sigue:

- Mejora su estado general.
- Lo conserva a un mayor nivel comercial.
- Ofrece la oportunidad de revisar el número de serie del motor, verificándolo contra la factura y permite también cooperar en la aplicación de la ley en algunos casos.
- Mejora la calidad de la mano de obra en su reparación.
- Proporciona una excelente oportunidad para informar a los conductores sobre la condición del vehículo y su responsabilidad bajo esas circunstancias.

Según la experiencia de servicios en asociaciones automovilísticas de servicio, las causas principales de falla de un vehículo ocurren por el estado de las llantas, los frenos, la suspensión delantera, la dirección, las luces, etc. La labor preventiva puede ser significativa a través de una revisión rápida, cada vez que haya un contacto de la autoridad con el usuario, cuando menos en vehículos de servicio público. Sea cual sea el tipo de vehículo se puede hacer una revisión de cinco minutos, que mucho ayudará al usuario y al agente de la ley a conocer las condiciones del vehículo, al grado que se pueda determinar si conviene dejarlo seguir su camino o prohibirle el paso en la carretera.

Una sencilla revisión ocular de las llantas determinará si ese vehículo puede seguir su camino con las que lleva. La presencia de llantas lisas, o bien, aberturas laterales o en el piso de la misma, indicará peligro. Tratándose de vehículos de servicio público, debe obligarse al operador a corregir el defecto, antes de seguir adelante. Por lo que respecta a los frenos, hay una sencilla regla para saber si el vehículo puede seguir con seguridad o no. Si al oprimir el pedal del freno, se llega a una distancia menor de 3 centímetros del tablero del piso, ese freno necesita revisión urgente. Las fallas de la suspensión delantera casi siempre pueden observarse en las ruedas "abiertas", o en el desgaste anormal de las llantas delanteras. Los casos críticos pueden significar desgaste peligroso.

En lo que tiene que ver con la dirección, una simple operación con la mano puede probar su sensibilidad para determinar si es correcta o no. Si el volante del vehículo gira más de 1/4 de círculo sin que las ruedas se

muevan, debe ir al taller. El volante debe ser lo suficientemente sensible para que al menor movimiento accionen las ruedas.

Las luces pueden ser revisadas con toda facilidad verificando el cambio de luces altas, bajas y traseras. La simple ausencia de la luz trasera, debe justificar que se impida el tránsito a un vehículo. Naturalmente, la ausencia o defecto de las luces delanteras también facultan al policía para negar la circulación del vehículo.

5.4 CARACTERISTICAS DE LOS VEHICULOS DE PROYECTO

Las normas que rigen el proyecto de calles y carreteras se fundamentan en gran parte en las dimensiones y características de operación de los vehículos que por ellas circulan.

El *vehículo de proyecto*, es aquel tipo de vehículo hipotético, cuyo peso, dimensiones y características de operación son utilizados para establecer los lineamientos que guiarán el proyecto geométrico de las carreteras, calles e intersecciones, tal que éstas puedan acomodar vehículos de este tipo.

En general, para efectos de proyecto, se consideran dos tipos de vehículos de proyecto: los vehículos *ligeros* o livianos y los vehículos *pesados*, clasificados éstos en camiones y autobuses. Las principales características para su clasificación están referidas al radio mínimo de giro y aquellas que determinan las ampliaciones o sobreanchos necesarios en las curvas horizontales, tales como distancia entre ejes extremos, ancho total de la huella y vuelos delantero y trasero.

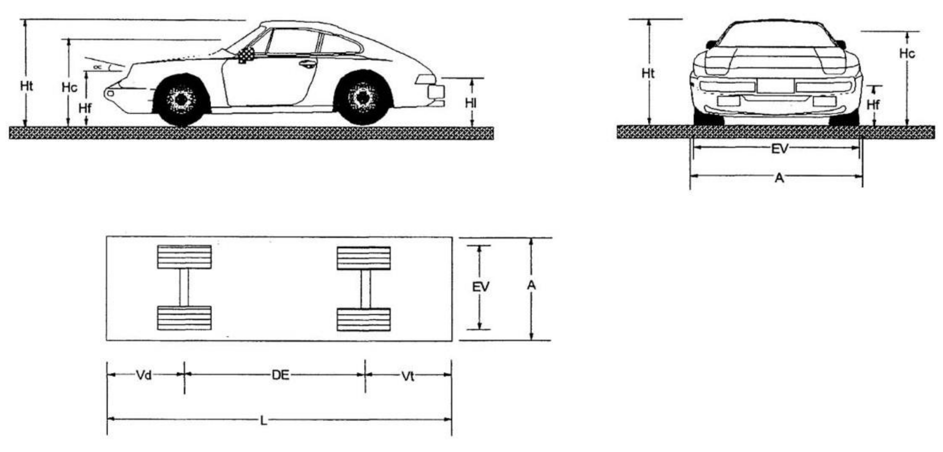
La figura 5.1 en conjunto con la tabla 5.8, muestran las características de los vehículos de proyecto que deben tomarse en cuenta en el proyecto geométrico de carreteras, calles e intersecciones[18].

La denominación de los vehículos de proyecto está en función de la distancia que existe entre los ejes extremos; así, por ejemplo, el vehículo DE-335 representa un vehículo con una distancia entre sus ejes extremos de 335 centímetros, o lo que es lo mismo 3.35 metros.

El vehículo de proyecto se debe seleccionar de tal manera que represente un porcentaje significativo del tránsito que circulará por el futuro sistema vial. Las figuras 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 y 5.6 ilustran las principales dimensiones de los vehículos de proyecto, así como sus radios de giro mínimo y las trayectorias de las ruedas para esos radios en ángulos de vuelta de 180.

En términos generales el *vehículo ligero* de proyecto puede ser utilizado en intersecciones menores en zonas residenciales, donde el número de

VEHICULO LIGERO



L	= longitud total del vehículo	*Vt*	= vuelo trasero	Ht	= altura total del vehículo
DE	= distancia entre los ejes más alejados de la unidad	*Tt*	= distancia entre los ejes del tándem del tractor	*Hc*	= altura de los ojos del conductor
DET	= distancia entre los ejes más alejados del tractor	*Dt*	= distancia entre el eje delantero del tractor y el primer eje del tándem	*Hf*	= altura de los faros delanteros
DES	= distancia entre la articulación y el eje del semirremolque	*A*	= ancho total del vehículo	*Hl*	= altura de las luces posteriores
Vd	= vuelo delantero	EV	= distancia entre las caras extremas de las ruedas (entrevía)	α	= ángulo de desviación del haz luminoso de los faros

VEHICULO PESADO

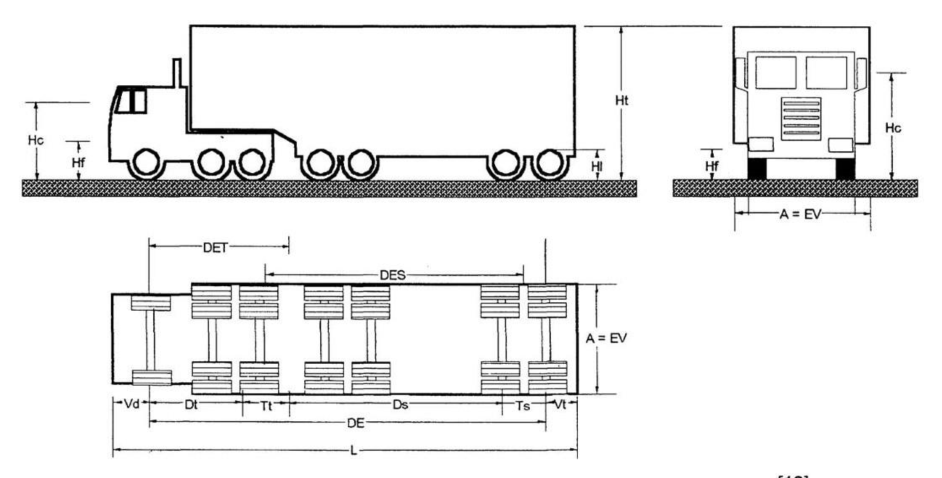


Figura 5.1 *Dimensiones de los vehículos ligeros y pesados* [18]
Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, México, 1991

Tabla 5.8 Características de los vehículos de proyecto (Según las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes)

Características de los vehículos		Vehículos de proyecto tipo				
		DE-335	DE-450	DE-610	DE-1220	DE-1525
Longuitud total del vehículo (m)	L	5.80	7.30	9.15	15.25	16.78
Distancia entre ejes extremos del vehículo (m)	DE	3.35	4.50	6.10	12.20	15.25
Distancia entre ejes extremos del tractor (m)	DET	–	–	–	3.97	9.15
Distancia entre ejes del semirremolque (m)	DES	–	–	–	7.62	6.10
Vuelo delantero (m)	Vd	0.92	1.00	1.22	1.22	0.92
Vuelo trasero	Vt	1.53	1.80	1.83	1.83	0.61
Distancia entre el ejes tándem tractor (m)	Tt	–	–	–	–	1.22
Distancia entre ejes tándem semirremolque (m)	Ts	–	–	–	1.22	1.22
Distancia entre ejes interiores tractor (m)	Dt	–	–	–	3.97	4.88
Distancia entre ejes interiores semirremolque (m)	Ds	–	–	–	7.01	7.93
Ancho total del vehículo (m)	A	2.14	2.44	2.59	2.59	2.59
Entrevía del vehículo (m)	EV	1.83	2.44	2.59	2.59	2.59
Altura total del vehículo (m)	Ht	1.67	2.14-4.12	2.14-4.12	2.14-4.12	2.14-4.12
Altura de los ojos del conductor (m)	Hc	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
Altura de los faros delanteros (m)	Hf	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
Altura de los faros traseros (m)	Hl	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
Angulo de desviación del haz de luz de los faros	α	1°	1°	1°	1°	1°
Radio de giro mínimo (m)	Rg	7.32	10.40	12.81	12.20	13.72
Peso total (kg) — Vehículo vacío	Wv	2 500	4 000	7 000	11 000	14 000
Peso total (kg) — Vehículo cargado	Wc	5 000	10 000	17 000	25 000	30 000
Relación peso/potencia (kg/HP)	Wc/P	45	90	120	180	180

<table>
<tr><th>Vehículos representados por el de proyecto</th><th></th><th>A</th><th>C2</th><th>B
C3</th><th colspan="2">T2-S1
T2-S2</th><th colspan="2">T2-S2
OTROS</th></tr>
<tr><td rowspan="6">Porcentaje de vehículos del tipo indicado cuya distancia entre ejes extremos (DE) es menor que la del vehículo de proyecto</td><td>A</td><td>99</td><td>100</td><td>100</td><td colspan="2">100</td><td colspan="2">100</td></tr>
<tr><td>C2</td><td>30</td><td>90</td><td>99</td><td colspan="2">100</td><td colspan="2">100</td></tr>
<tr><td>C3</td><td>10</td><td>75</td><td>99</td><td colspan="2">100</td><td colspan="2">100</td></tr>
<tr><td>T2-S1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>80</td><td rowspan="3">78</td><td>99</td><td rowspan="3">98</td></tr>
<tr><td>T2-S2</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>93</td><td>100</td></tr>
<tr><td>T3-S2</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>18</td><td>90</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Porcentaje de vehículos del tipo indicado cuya relación peso/potencia es menor que la del vehículo de proyecto</td><td>A</td><td>98</td><td>100</td><td>100</td><td colspan="2">100</td><td colspan="2">100</td></tr>
<tr><td>C2</td><td>62</td><td>98</td><td>100</td><td colspan="2">100</td><td colspan="2">100</td></tr>
<tr><td>C3</td><td>20</td><td>82</td><td>100</td><td colspan="2">100</td><td colspan="2">100</td></tr>
<tr><td>T2-S1</td><td>6</td><td>85</td><td>100</td><td colspan="2">100</td><td colspan="2">100</td></tr>
<tr><td>T2-S2</td><td>6</td><td>42</td><td>98</td><td colspan="2">98</td><td colspan="2">98</td></tr>
<tr><td>T3-S2</td><td>2</td><td>35</td><td>80</td><td colspan="2">80</td><td colspan="2">80</td></tr>
</table>

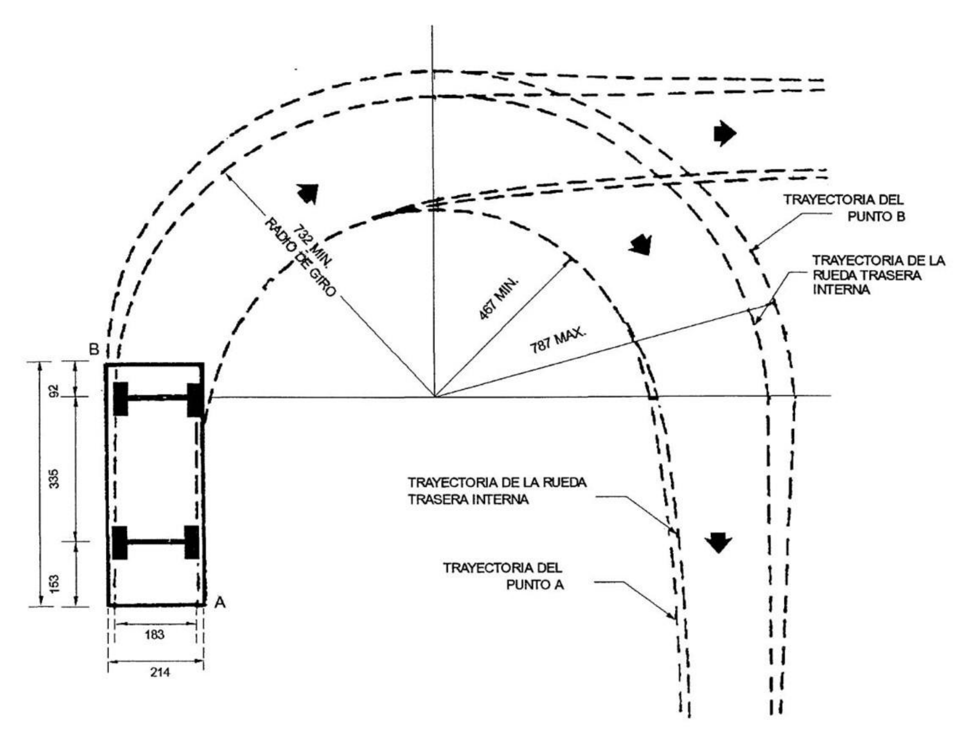


Figura 5.2 *Características del vehículo de proyecto DE-335*
Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, México, 1991.

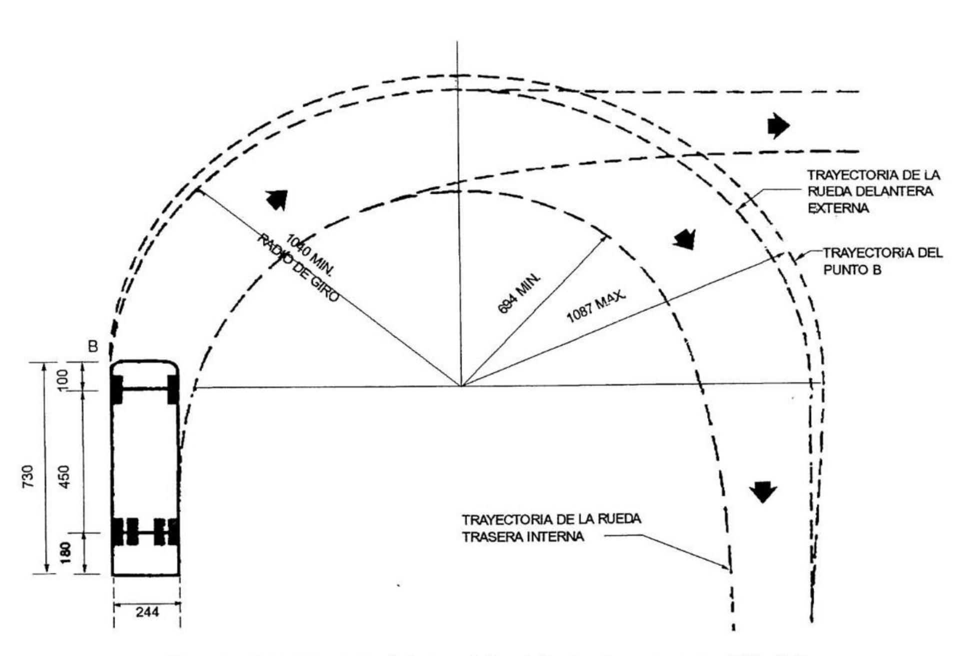


Figura 5.3 *Características del vehículo de proyecto DE-450*
Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, México, 1991.

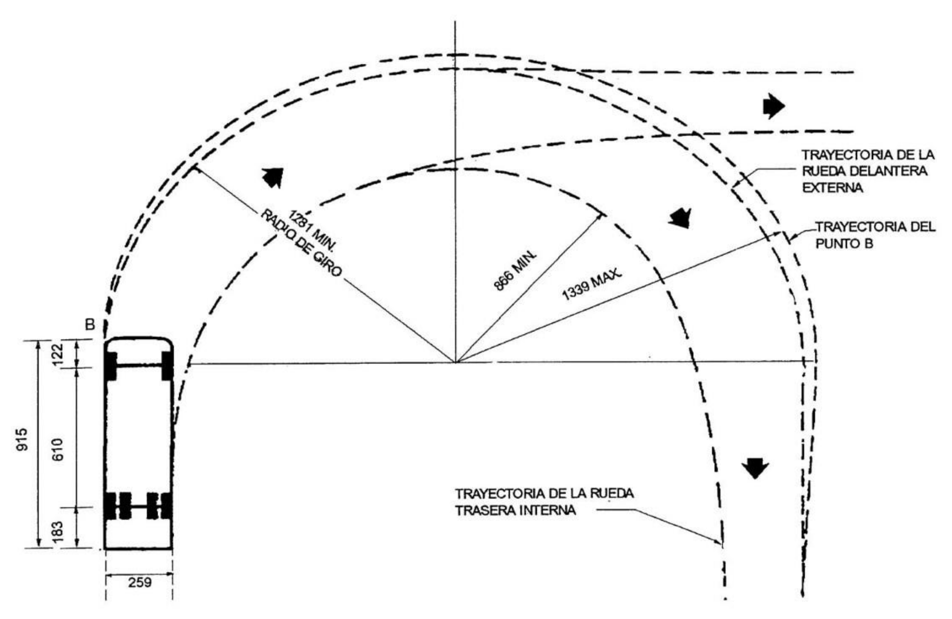


Figura 5.4 *Características del vehículo de proyecto DE-610*
Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, México, 1991.

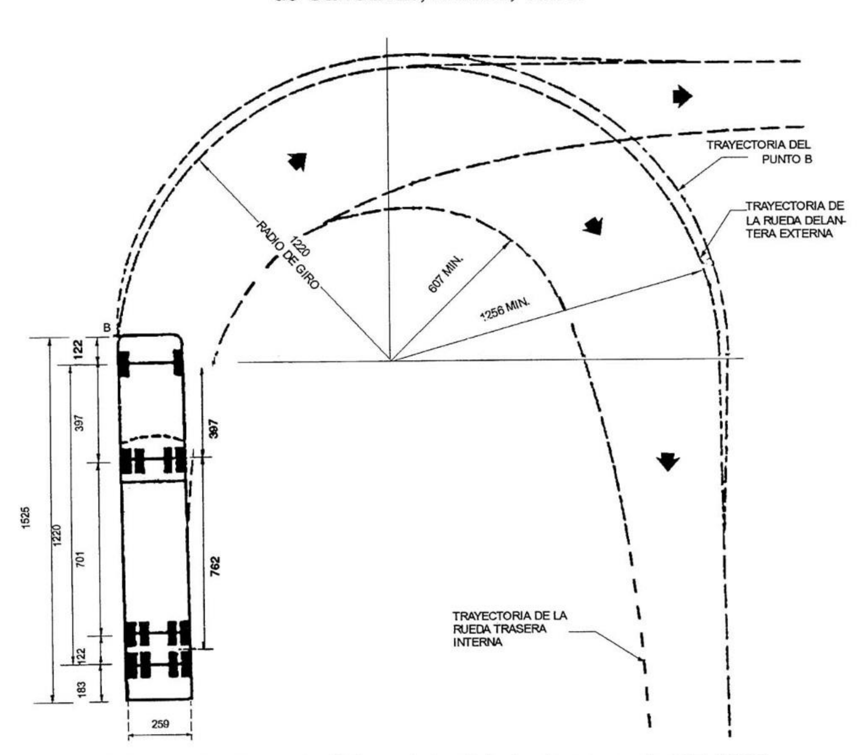


Figura 5.5 *Características del vehículo de proyecto DE-1220*
Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, México, 1991.

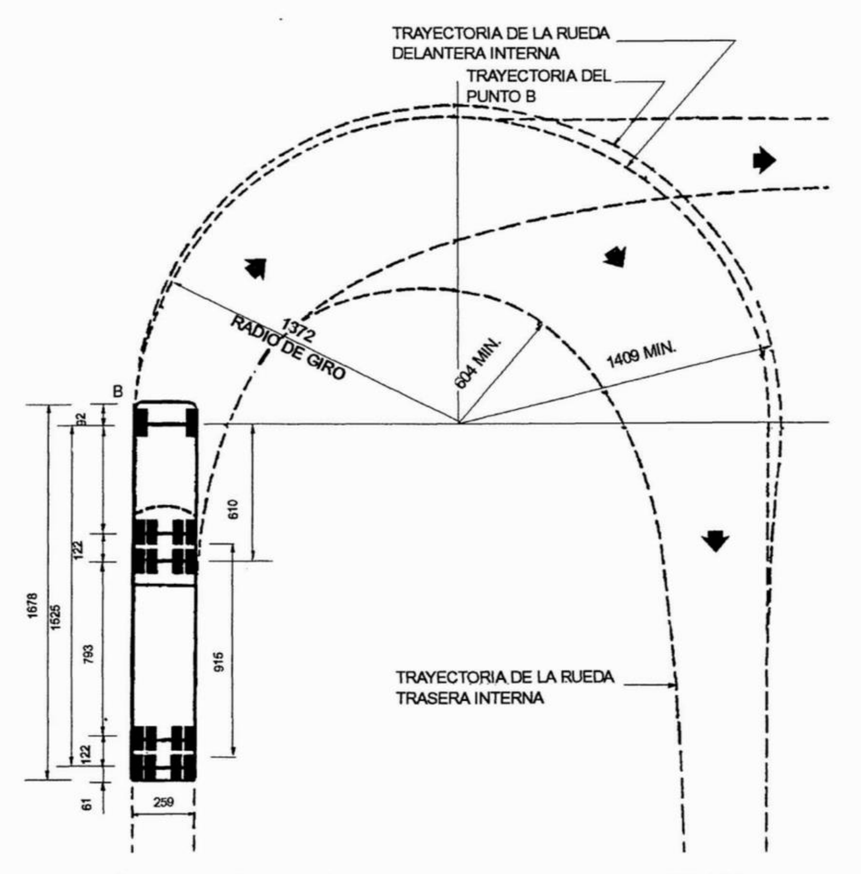


***Figura 5.6** Características del vehículo de proyecto DE-1525*
Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, México, 1991.

vehículos que realizan vueltas no es significativo. También puede ser utilizado en intersecciones mayores que dispongan de carriles de estacionamiento y cruces peatonales demarcados, los cuales obligan el uso de radios pequeños en las esquinas aún aceptables. Igualmente, podrá ser utilizado en aquellas áreas urbanas con intersecciones a nivel sobre calles arteriales, siempre que se disponga de carriles de cambio de velocidad y que las vueltas de camiones sea ocasional.

Por lo general el *vehículo pesado* de proyecto se utiliza en terminales de pasajeros y de carga, donde se espera una alta circulación de autobuses y camiones, efectuando maniobras de ascenso y descenso de pasajeros y carga y descarga de mercancías. También se pueden utilizar en autopistas y arterias rápidas, siempre que sea grande el número de movimientos de vueltas.

5.5 RADIO Y PERALTE DE CURVAS

Las vueltas que se realizan a velocidades inferiores a los 15 km/h, se consideran como *vueltas a baja velocidad*. Esta situación se presenta generalmente en intersecciones agudas, donde el radio de las curvas es controlado por las huellas de giro mínimas de los vehículos.

Se consideran como *vueltas a alta velocidad* aquellas que se efectúan a velocidades cercanas al 70% de la velocidad de proyecto. Esta condición se presenta en las curvas a campo abierto y en las curvas de los enlaces en intersecciones importantes, donde el radio de ellas es controlado por el peralte y la fricción lateral entre las llantas y la superficie de rodamiento.

Cuando un vehículo cambia su trayectoria de movimiento rectilíneo a curvilíneo, "se siente una fuerza" que tiende a conservar el movimiento en línea recta. A este impulso inicial se le llama erróneamente, *fuerza centrífuga*.

Un vehículo se sale de una curva por dos razones que pueden ocurrir independiente, o simultáneamente: ya sea porque el *peralte*, de la curva no es suficiente para contrarrestar la velocidad o porque la *fricción* entre las ruedas y el pavimento falla y se produce el "derrape" o deslizamiento. Las principales causas por las que un vehículo derrapa en las curvas son debido a la presencia de hielo, arena y agua sobre el pavimento.

Cuando un vehículo se desplaza a lo largo de una curva horizontal, actúa sobre él la *fuerza centrífuga* que tiende a desviarlo hacia afuera de su trayectoria normal, tiende a alterar su movimiento en línea recta. Según las leyes de la dinámica, la magnitud de esta fuerza es:

$$F = ma \tag{5.1}$$

Donde:

F = fuerza centrífuga
m = masa del vehículo
a = aceleración radial

La relación entre la masa m y la aceleración radial a es:

$$m = \frac{P}{g} \tag{5.2}$$

$$a = \frac{v^2}{R} \tag{5.3}$$

Donde:

P = peso del vehículo
g = aceleración debida a la gravedad
v = velocidad del vehículo
R = radio de la curva circular horizontal

Por lo tanto:

$$F = ma = \frac{Pv^2}{gR} \qquad (5.4)$$

En esta última expresión, se puede ver que para un mismo radio R, la fuerza centrífuga F es mayor si la velocidad v es mayor. Esto hace que el *efecto centrífugo* sea más notable.

La única fuerza que se opone al deslizamiento lateral del vehículo es la *fuerza de fricción* F_t entre las llantas y el pavimento. Esta fuerza por sí sola, generalmente a velocidades altas, no es suficiente para impedir el deslizamiento transversal. Por lo tanto, será necesario buscarle un complemento, inclinando transversalmente la calzada. Esta inclinación denominada *sobreelevación* o *peralte*, junto con la fricción y el peso propio del vehículo, eliminan el efecto centrífugo, estableciendo la estabilidad del vehículo en la curva.

En la figura 5.7 se muestra un esquema de las fuerzas externas que actúan en un vehículo que circula sobre una curva y que tiende a deslizarlo o volcarlo hacia la parte exterior de la curva, situación más común que se presenta en la práctica en la mayoría de los vehículos.

La condición necesaria para que el vehículo no se deslice transversalmente, se plantea así: la resultante paralela al pavimento ($F_x - P_x$) actúa hacia la izquierda, por lo que debe ser contrarrestada por la fuerza de fricción transversal, F_t, entre las llantas y el pavimento y que actúa hacia la derecha. Esto es:

$$F_x - P_x = F_t$$

Pero también se sabe que:

Fuerza de fricción = Fuerza normal $\times f_t$ (f_t, fuerza de fricción)

$$F_t = (F_y + P_y) f_t$$

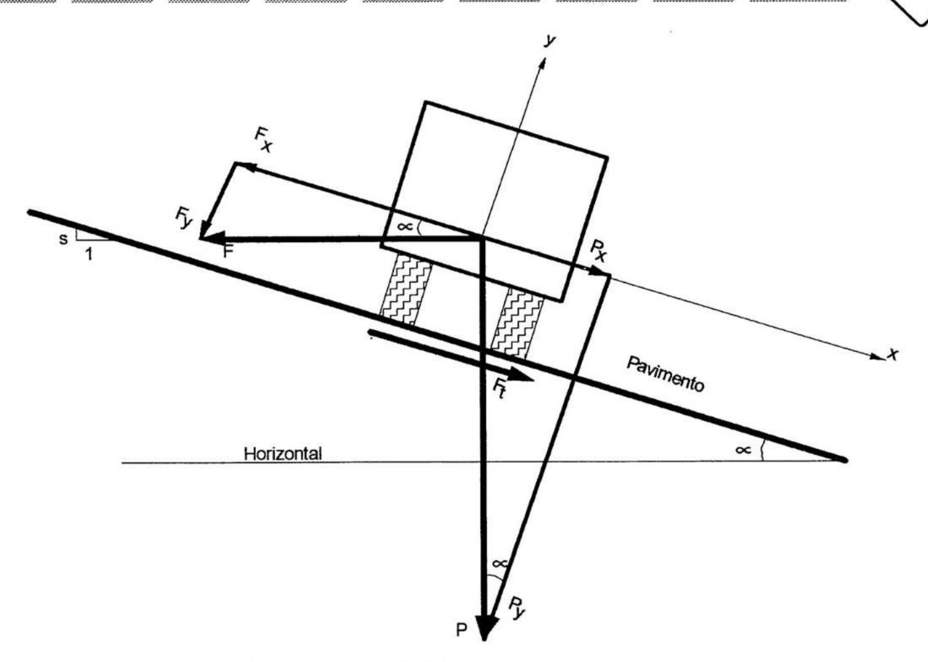


Figura 5.7 Estabilidad del vehículo en curva

Por lo tanto:

$$F_x - P_x = (F_y + P_y) f_t$$

$$f_t = \frac{F_x - P_x}{F_y + P_y}$$

$$f_t = \frac{F \cos\alpha - P \operatorname{sen}\alpha}{F \operatorname{sen}\alpha + P \cos\alpha}$$

Dividiendo entre $\cos\alpha$:

$$f_t = \frac{F - P \tan\alpha}{F \tan\alpha + P}$$

Reemplazando el valor de la fuerza centrífuga F, dado por la ecuación (5.4), y el valor de *tan* α por la sobreelevación s, resulta:

$$f_t = \frac{\dfrac{Pv^2}{gR} - Ps}{\dfrac{Pv^2s}{gR} + P}$$

$$f_t = \frac{\dfrac{v^2}{gR} - s}{\dfrac{v^2s}{gR} + 1}$$

$$s + f_t = \frac{v^2}{gR}(1 - f_t s)$$

En la práctica, para valores normales de la sobreelevación, no se toma en cuenta el producto $f_t s$ debido a que es muy pequeño. Entonces:

$$s + f_t = \frac{v^2}{gR}$$

Expresando la velocidad v en km/h, el radio R en metros y sustituyendo g por 9.81 m/s^2, finalmente se tiene:

$$s + f_t = 0.007865 \frac{v^2}{gR} \qquad (5.5)$$

Otro aspecto importante a definir en curvas horizontales, es la expresión de su curvatura[10]:

La curvatura de un arco circular se fija por su radio R o por su grado G. Se llama *grado de curvatura* G al valor del ángulo central correspondiente a un arco o una cuerda de determinada longitud, escogidos como arco unidad a o cuerda unidad c. La curva de la figura 5.8 ilustra este concepto.

La relación entre el radio R y el grado de curvatura G para el sistema *arco-grado*, se establece así:

$$\frac{G}{a} = \frac{360°}{2\pi R}$$

$$G = \frac{180° a}{\pi R} \qquad (5.6)$$

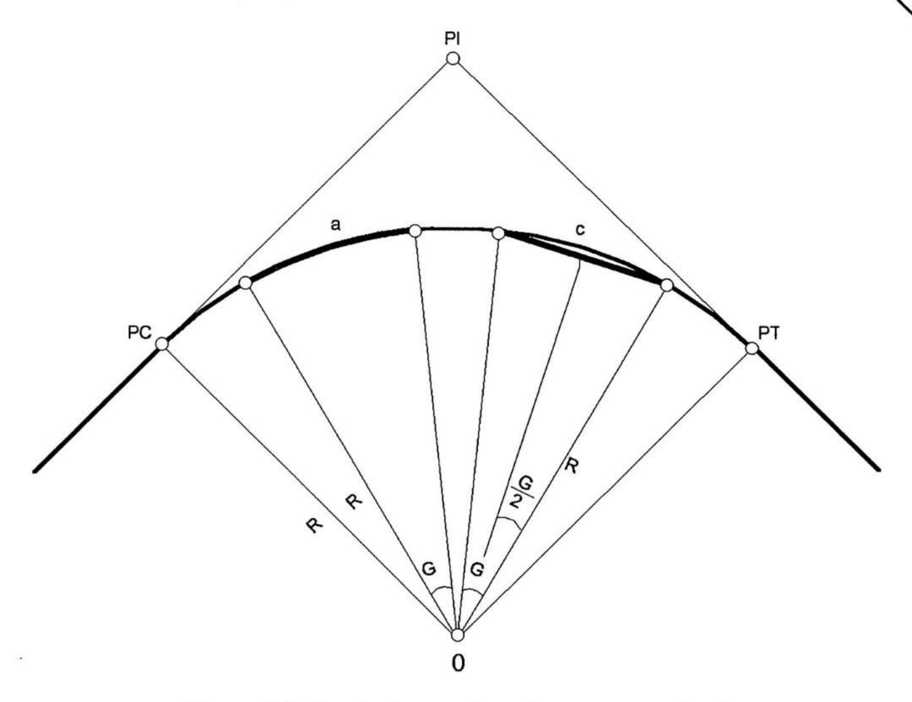


Figura 5.8 Grado de curvatura de una curva circular

Para el radio R en metros y un arco unidad a de 20 metros, valor bastante utilizado en nuestro medio, el valor del grado de curvatura G en grados sexagesimales es:

$$G = \frac{1145.92}{R} \tag{5.7}$$

Igualmente, la relación entre el radio R y el grado de curvatura G para el sistema *cuerda-grado*, se establece así:

$$\operatorname{sen}\frac{G}{2} = \frac{\frac{c}{2}}{R}$$

$$G = 2\operatorname{sen}^{-1}\left(\frac{c}{2R}\right) \tag{5.8}$$

Como es necesario fijar una sobreelevación máxima, $s_{máx}$, se usa el 12% en aquellos lugares donde no existen heladas ni nevadas y el porcen-

taje de vehículos pesados en la corriente de tránsito es mínimo; se usa el 10% en lugares en donde sin haber nieve o hielo se tiene un gran porcentaje de vehículos pesados; se usa el 8% en zonas donde las heladas o nevadas son frecuentes y, finalmente, se usa el 6% en zonas urbanas[18].

Establecida la *sobreelevación máxima* $s_{máx}$, el *radio mínimo* $R_{mín}$ de la curva queda definido para cada *velocidad de proyecto* v, a partir de la ecuación (5.5), como:

$$R_{mín} = \frac{0.007865\, v^2}{s_{máx} + f_t} \tag{5.9}$$

A su vez, el *grado máximo de curvatura* $G_{máx}$ se establece como:

$$G_{máx} = \frac{146\,000\,(s_{máx} + f_t)}{v^2} \tag{5.10}$$

Reemplazando en las ecuaciones (5.9) y (5.10), los valores del coeficiente de fricción lateral f_t y la sobreelevación máxima $s_{máx}$ que se considere, se calculan los valores del radio mínimo $R_{mín}$ y el grado máximo de curvatura $G_{máx}$ para cada velocidad de proyecto v. Estos valores se muestran en la tabla 5.9.

Tabla 5.9 Radios mínimos y grados máximos de curvatura

Velocidad de proyecto (V)	Coeficiente de fricción lateral (f_t)	Valores para proyecto							
		$S_{máx}$ = 0.12		$S_{máx}$ = 0.10		$S_{máx}$ = 0.08		$S_{máx}$ = 0.06	
		$R_{mín}$	$G_{máx}$	$R_{mín}$	$G_{máx}$	$R_{mín}$	$G_{máx}$	$R_{mín}$	$G_{máx}$
30	0.280	17.70	64.75	18.63	61.51	19.66	58.29	20.82	55.04
40	0.230	35.95	31.88	38.13	30.05	40.59	28.23	43.39	26.41
50	0.190	63.43	18.07	67.80	16.90	72.82	15.74	78.65	14.57
60	0.165	99.35	11.53	106.85	10.72	115.57	9.92	125.84	9.11
70	0.150	142.74	8.03	154.15	7.43	167.56	6.84	183.52	6.24
80	0.140	193.60	5.92	209.73	5.46	228.80	5.01	251.68	4.55
90	0.135	249.83	4.59	271.09	4.23	296.31	3.87	326.70	3.51
100	0.130	314.60	3.64	341.96	3.35	374.52	3.06	413.95	2.77
110	0.125	388.43	2.95	422.96	2.71	464.23	2.47	514.41	2.23

Un procedimiento bastante utilizado para asignar sobreelevaciones s a curvas con radios R mayores que el radio mínimo, $R_{mín}$, consiste en realizar una repartición inversamente proporcional:

$$s_{máx} \rightarrow \frac{1}{R_{mín}}$$

$$s \rightarrow \frac{1}{R}$$

De donde:

$$s = \left(\frac{R_{mín}}{R}\right) s_{máx} \tag{5.11}$$

EJEMPLO 5.5.1

Mediante este ejemplo se explica el uso de la tabla 5.9. Para tal efecto, se tiene que la velocidad de proyecto del primer tramo de una carretera es de 110 km/h. Si a una determinada curva se le asigna una sobreelevación máxima de 0.10, se quiere determinar el radio mínimo para que ella garantice una operación segura. Si a esta curva se le asigna una sobreelevación máxima de 0.08, ¿cuál es el radio mínimo necesario? En un segundo tramo de esta carretera, donde la velocidad de proyecto es de 50 km/h, se quiere determinar el radio mínimo de otra curva proyectada con una sobreelevación máxima de 0.08.

Primer tramo:

Para la primera curva con velocidad de proyecto de 110 km/h y sobreelevación máxima de 0.10, según la ecuación (5.9), se tiene que el radio mínimo es:

$$R_{mín} = \frac{0.007865 v^2}{s_{máx} + f_t} = \frac{0.007865\ (110)^2}{0.10 + 0.125}$$

$$= 422.96 \text{ m}$$

Con una sobreelevación máxima de 0.08, el radio mínimo es:

$$R_{mín} = \frac{0.007865\ (110)^2}{0.08 + 0.125}$$

$$= 464.23 \text{ m}$$

Como se puede observar, para una misma velocidad de proyecto, al disminuir la sobreelevación se debe aumentar el radio de la curva para seguir conservando la estabilidad.

Segundo tramo:

Para la segunda curva con velocidad de proyecto de 50 km/h y sobreelevación máxima de 0.08, el radio mínimo es:

$$R_{mín} = \frac{0.007865\ (50)^2}{0.08 + 0.190}$$

$$= 72.82 \text{ m}$$

Comparando esta segunda curva con la primera, se aprecia que para una misma sobreelevación al disminuir la velocidad de proyecto, también debe disminuir el radio para seguir conservando la seguridad.

EJEMPLO 5.5.2

Para un tramo de una carretera proyectado con una velocidad de 80 km/h, se ha establecido, de acuerdo a las condiciones presentes, como sobreelevación máxima el valor de 0.10. En dicho tramo y según los alineamientos horizontales, una de las curvas circulares presenta un radio de 300 metros. Para esta curva se desea conocer la sobreelevación necesaria y su grado de curvatura correspondiente.
Los radios de las curvas de este tramo de carretera son controlados por el radio mínimo, cuyo valor es:

$$R_{mín} = \frac{0.007865 v^2}{s_{máx} + f_t} = \frac{0.007865\ (80)^2}{0.10 + 0.140}$$

$$= 209.73 \text{ m}$$

La sobreelevación para la curva de radio 300 metros, según la ecuación (5.11) es, por lo tanto:

$$s = \left(\frac{R_{mín}}{R}\right) s_{máx} = \left(\frac{209.73}{300.00}\right) 0.10$$

$$= 0.07$$

El grado de curvatura correspondiente, de acuerdo a la ecuación (5.7), es:

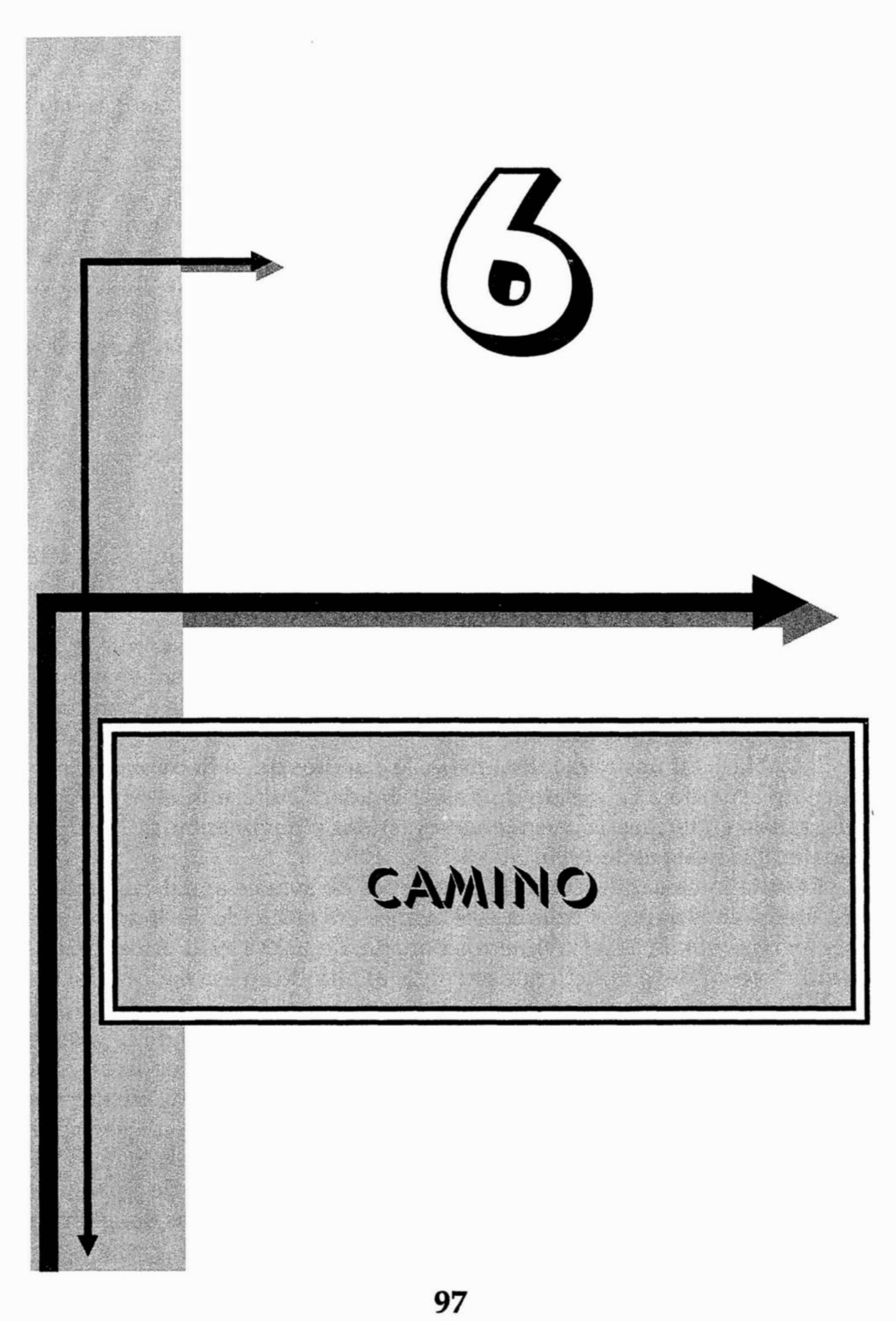
$$G = \frac{1145.92}{R} = \frac{1145.92}{300.00}$$

$$= 3°49'11''$$

5.6 PROBLEMAS PROPUESTOS

5.6.1 Se está proyectando una autopista con una velocidad de 110 km/h. Una de las curvas horizontales dispondrá de un radio de 1 500 metros. Calcular la sobreelevación necesaria para esta curva, si la sobreelevación máxima, según las especificaciones del proyecto, es de 0.12, 0.10, 0.08 y 0.06, respectivamente.

5.6.2 Calcular el radio de la curva circular horizontal a partir del cual la sobreelevación es igual al bombeo del 0.02, para una velocidad de proyecto de 90 km/h y una sobreelevación máxima de 0.12.


6
CAMINO

6.1 GENERALIDADES

Se entiende por *camino*, aquella faja de terreno acondicionada para el tránsito de vehículos. La denominación de camino incluye a nivel rural las llamadas *carreteras*, y a nivel urbano las *calles* de la ciudad. Ciertamente uno de los patrimonios más valiosos con los que cuenta cualquier país, es la infraestructura de su red vial, por lo que su magnitud y calidad representan uno de los indicadores del grado de desarrollo del mismo. Se encontrará siempre que un país de un alto nivel de vida tendrá un excelente sistema vial, un país atrasado tendrá una red deficiente.

El diseño geométrico de las carreteras y calles, incluye todos aquellos elementos relacionados con el alineamiento horizontal, el alineamiento vertical y los diversos componentes de la sección transversal.

6.2 ESTADISTICA DE MEXICO

Puede decirse, sin lugar a dudas, que la construcción de caminos para la era motorizada se inició en México a partir de 1925, año en que una ley del Presidente Plutarco Elías Calles creó la Comisión Nacional de Caminos. La asignación del primer presupuesto de obras para esta nueva dependencia, marca el principio de un esfuerzo para hacer frente a uno de los factores más importantes de la infraestructura del país: la integración de una red de caminos.

La tabla 6.1 muestra el kilometraje de caminos de la República Mexicana, de acuerdo a su estado de transitabilidad, en términos de brechas mejoradas, en terracería, carreteras revestidas y pavimentadas, desde el año de 1925 hasta el de 1990.

Resulta interesante revisar la estadística de avance anual, notándose que en los años veinte y treinta este avance era reducido. Se logró el primer incremento de 1 000 kilómetros por año, de 1939 a 1940. Afortunadamente, a pesar del conflicto que envolvió al mundo en esa época, México pudo dedicar un mayor esfuerzo a la construcción de caminos y sostuvo a niveles aceptables el avance anual. En ningún momento de la guerra éste fue menor de 400 kilómetros anuales de caminos pavimentados. En 1947 y 1948 se logró superar el avance, elevándose a 1 500 kilómetros anuales. Dicho ritmo de avance posteriormente disminuyó un poco por la depresión de la postguerra, para recuperarse definitivamente en 1955. A partir de 1972 se incorporaron al cuidado de la Secretaría de Obras Públicas todos los caminos hechos por otras dependencias y los del plan de caminos construidos manualmente.

Tabla 6.1 Kilometrajes por años de la red de caminos en la República Mexicana, según su estado de transitabilidad

Año	Brechas mejoradas	Terracería	Revestidas	Pavimentadas		Total
				2 carriles	≥ 4 carriles	
1925-28		209	245	421		875
1929		353	298	289		940
1930		629	256	541		1 426
1931		683	377	620		1 680
1932		702	467	645		1 814
1933		1 601	793	683		3 077
1934		1 786	1 291	1 183		4 260
1935		1 760	1 918	1 559		5 237
1936		1 891	2 406	2 007		6 304
1937		1 831	3 363	2 316		7 510
1938		2 035	3 424	3 004		8 463
1939		1 912	3 441	3 755		9 108
1940		1 643	3 505	4 781		9 929
1941		2 249	4 131	5 420		11 800
1942		2 250	5 194	6 082		13 526
1943		2 418	5 918	6 910		15 246
1944		2 336	6 375	7 683		16 394
1945		2 399	6 842	8 163		17 404
1946		2 663	7 267	8 614		18 544
1947		2 509	7 722	9 071		19 302
1948		2 630	7 064	10 562		20 256
1949		2 550	6 546	12 059		21 155
1950		2 024	6 836	13 595		22 455
1951		2 428	7 600	15 034		25 062
1952		2 630	8 524	16 117	61	27 332
1953		2 712	9 309	17 085	61	29 167
1954		3 404	9 653	17 785	61	30 903
1955	1 427	2 816	9 164	18 756	61	32 224
1956	800	3 851	10 691	19 856	61	35 259
1957	515	4 723	10 464	21 873	61	37 636
1958	489	5 406	11 295	23 071	61	40 322
1959	1 142	4 763	11 916	25 079	61	42 961
1960	2 850	3 850	11 203	26 918	61	44 892
1961	2 266	5 187	13 310	28 876	61	49 900
1962	3 875	5 108	14 840	29 496	221	53 540
1963	3 825	5 853	15 883	31 256	221	57 038
1964	4 395	6 353	16 506	32 949	237	60 440
1965	1 755	6 693	18 373	34 195	236	61 252
1966	1 769	6 642	19 083	35 865	257	63 616

Tabla 6.1 *Kilometrajes por años de la red de caminos en la República Mexicana, según su estado de transitabilidad (Continuación)*

Año	Brechas mejoradas	Terracería	Revestidas	Pavimentadas		Total
				2 carriles	≥ 4 carriles	
1967	1 643	6 563	19 534	36 804	551	65 095
1968	1 802	6 618	19 779	38 279	582	67 057
1969	1 651	6 840	20 904	39 790	596	69 781
1970	1 520	6 579	21 462	41 358	601	71 520
1971	1 300	6 206	22 654	43 272	620	74 052
1972	31 835	13 387	31 620	46 875	674	124 391
1973	32 253	17 363	56 262	50 111	717	156 706
1974	31 461	21 458	66 236	55 496	738	175 389
1975	31 530	22 486	72 715	58 637	850	186 218
1976	31 528	22 507	79 550	58 797	908	193 290
1977	31 107	24 509	81 976	60 569	899	199 060
1978	36 351	25 750	81 384	63 231	945	207 661
1979	35 908	24 103	85 447	64 810	978	211 246
1980	33 409	24 735	87 562	65 920	1 000	212 626
1981	31 497	24 601	88 728	67 336	1 076	213 238
1982	30 250	20 725	92 493	69 111	1 123	213 702
1983	29 430	18 581	97 706	69 499	1 255	216 471
1984	29 430	16 086	103 856	70 123	1 508	221 003
1985	31 398	3 516	115 384	71 475	2 452	224 225
1986	32 480	4 389	117 174	74 316	2 632	230 991
1987	32 846	4 139	117 071	75 913	3 370	233 339
1988	33 120	3 781	116 783	76 865	4 484	235 033
1989	33 120	3 781	118 195	77 196	4 765	237 057
1990	33 120	3 718	118 472	78 403	5 522	239 235

FUENTE:
Secretaría de Comunicaciones y Transportes

A partir de 1952 se comenzaron a construir carreteras de cuatro o más carriles, utilizando el criterio de tener un sistema de comunicación interestatal mucho más rápido, cómodo y seguro. Ya para el año 1962 se tenían en este tipo de carreteras 221 kilómetros, y 78 403 para el año de 1990, cumpliendo así con el programa nacional de autopistas.

El empeño de mejorar las vías de comunicación terrestre ha sido sostenido, el cual se refleja en el progreso del país, teniendo a cada uno de los estados mejor comunicados y llegando así para el año 1990 a casi los 240 000 kilómetros.

Para complementar la información anterior, en la tabla 6.2 se muestra el kilometraje de caminos por entidades federativas en la República Mexicana para el año 1990. Se observa en ella que a esta fecha, las entidades

Tabla 6.2 *Kilometrajes de caminos por entidades federativas en la República Mexicana al año 1990*

Entidad	Brechas mejoradas	Terracería	Revestidas	Pavimentadas		Total
				2 carriles	≥ 4 carriles	
Aguascalientes	—	—	1 204	681	102	1 987
Baja California	38	583	4 351	2 465	359	7 796
Baja California Sur	2 194	340	2 065	1 453	9	6 061
Campeche	1 915	432	1 571	1 703	—	5 661
Coahuila	669	—	5 562	3 159	217	9 607
Colima	—	70	712	666	119	1 567
Chiapas	1 121	157	6 898	2 812	74	11 062
Chihuahua	2 917	45	4 367	3 494	624	11 447
Distrito Federal	—	—	—	92	68	160
Durango	483	—	5 919	2 546	15	8 963
Guanajuato	1 466	—	3 707	2 066	280	7 519
Guerrero	908	—	4 732	2 518	107	8 265
Hidalgo	156	—	4 005	2 084	79	6 324
Jalisco	957	244	5 662	4 291	248	11 402
México	274	209	5 038	3 669	676	9 866
Michoacán	1 043	247	4 208	3 801	121	9 420
Morelos	—	—	710	1 279	119	2 108
Nayarit	404	70	1 991	1 027	36	3 528
Nuevo León	1 983	63	3 200	3 378	243	8 867
Oaxaca	452	127	7 514	2 983	15	11 091
Puebla	424	6	4 640	2 172	172	7 414
Querétaro	76	102	2 187	1 193	134	3 692
Quintana Roo	798	9	2 346	1 717	32	4 902
San Luis Potosí	1 632	23	5 053	2 722	91	9 521
Sinaloa	2 128	136	4 254	2 553	398	9 469
Sonora	3 535	346	2 069	4 706	705	11 361
Tabasco	2 238	—	2 532	2 369	44	7 183
Tamaulipas	4 351	60	4 926	3 235	156	12 728
Tlaxcala	—	—	1 446	1 307	54	2 807
Veracruz	448	60	5 238	4 400	145	10 291
Yucatán	510	389	2 427	3 774	42	7 142
Zacatecas	—	—	7 938	2 088	38	10 064

FUENTE
S.C.T., *Anuario estadístico*, 1990.

con mayor número de brechas mejoradas fueron Tamaulipas, Sonora y Chihuahua.

En los caminos de terracería se observa que varios estados no registraron trabajos de este tipo. Por otra parte, las entidades que más kilómetros reportan en terracería son Baja California, Yucatán y Sonora.



Figura 6.1 *Autopista ciudad de México-Puebla*

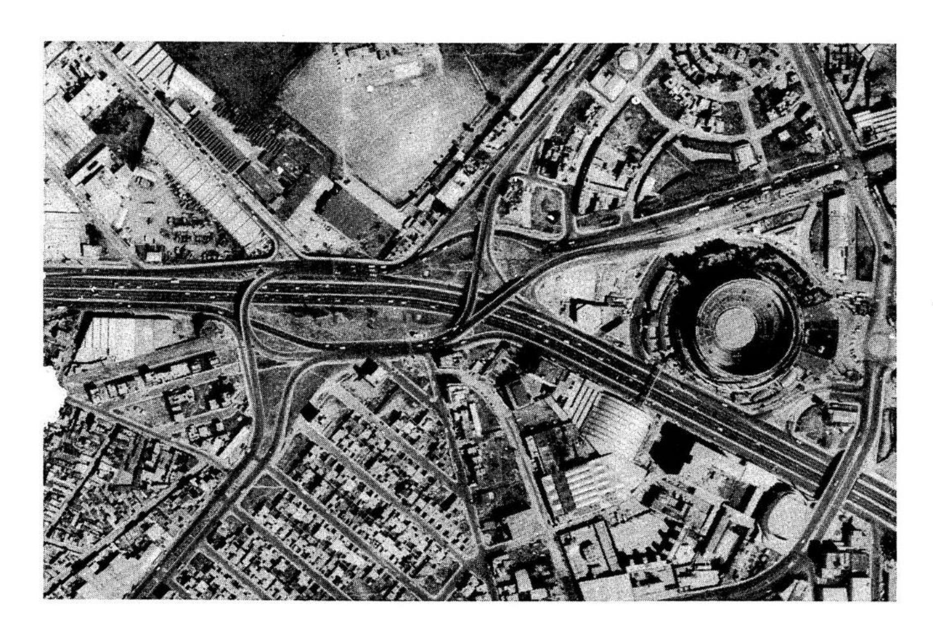


Figura 6.2 *Autopista ciudad de México-Querétaro*

Las entidades que más caminos revestidos tuvieron, fueron Zacatecas, Oaxaca y Chiapas. Las entidades que registran la mayor construcción de caminos pavimentados de dos carriles son Sonora, Veracruz y Jalisco.

Las carreteras pavimentadas de cuatro o más carriles con mayor construcción fueron Sonora, el Estado de México y Chihuahua. A su vez, las que construyeron menos fueron el D.F. y Colima.

En términos generales los estados de Tamaulipas, Chihuahua y Jalisco tienen mayor número de kilómetros en carreteras construidas. El estado de Sonora construye más kilómetros pavimentados para poder comunicarse con mayor rapidez y seguridad con los demás estados.

Las fotografías de las figuras 6.1, 6.2 y 6.3 ilustran tramos típicos de las autopistas de cuota que comunican a la ciudad de México con las ciudades de Puebla, Querétaro y Toluca.

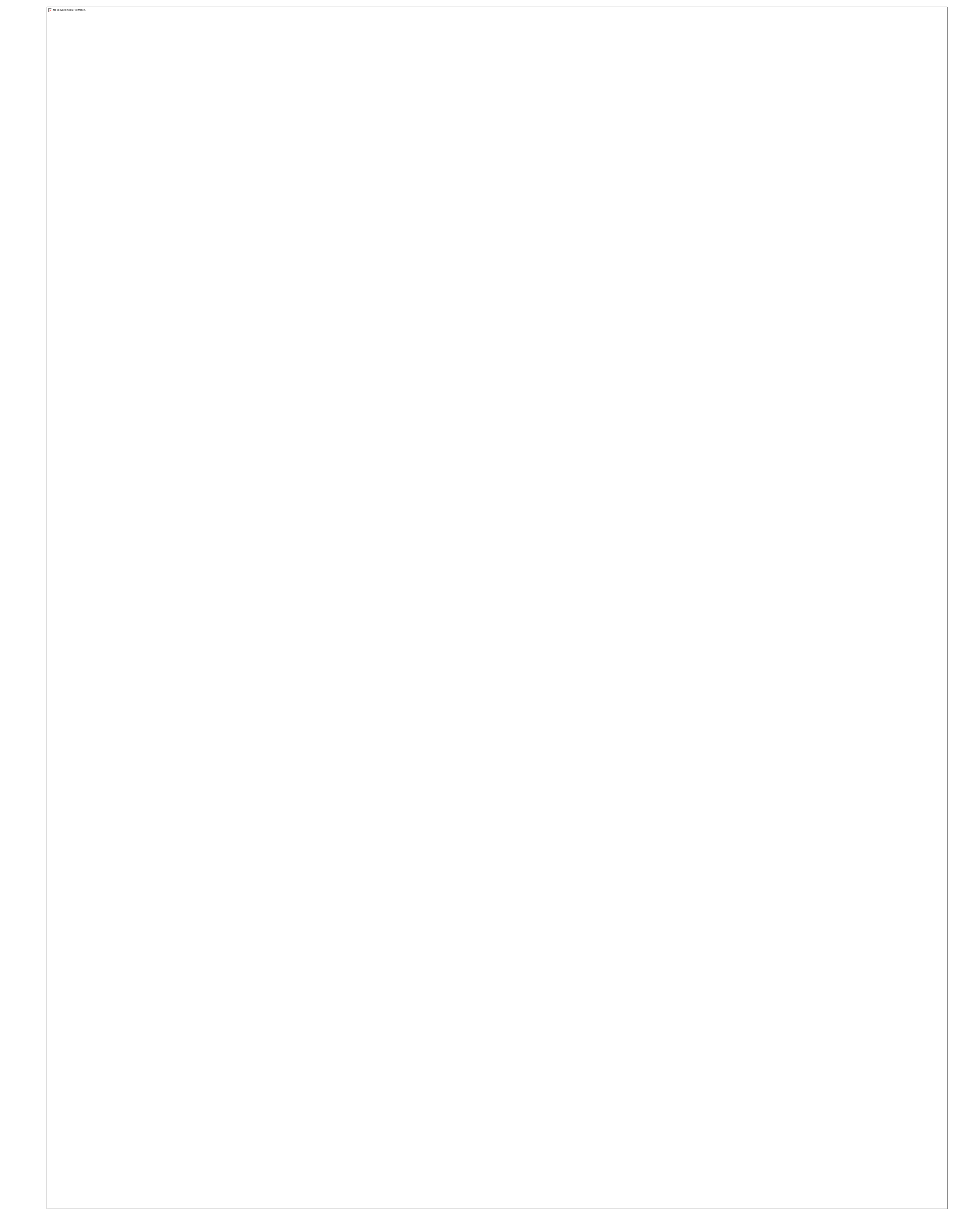


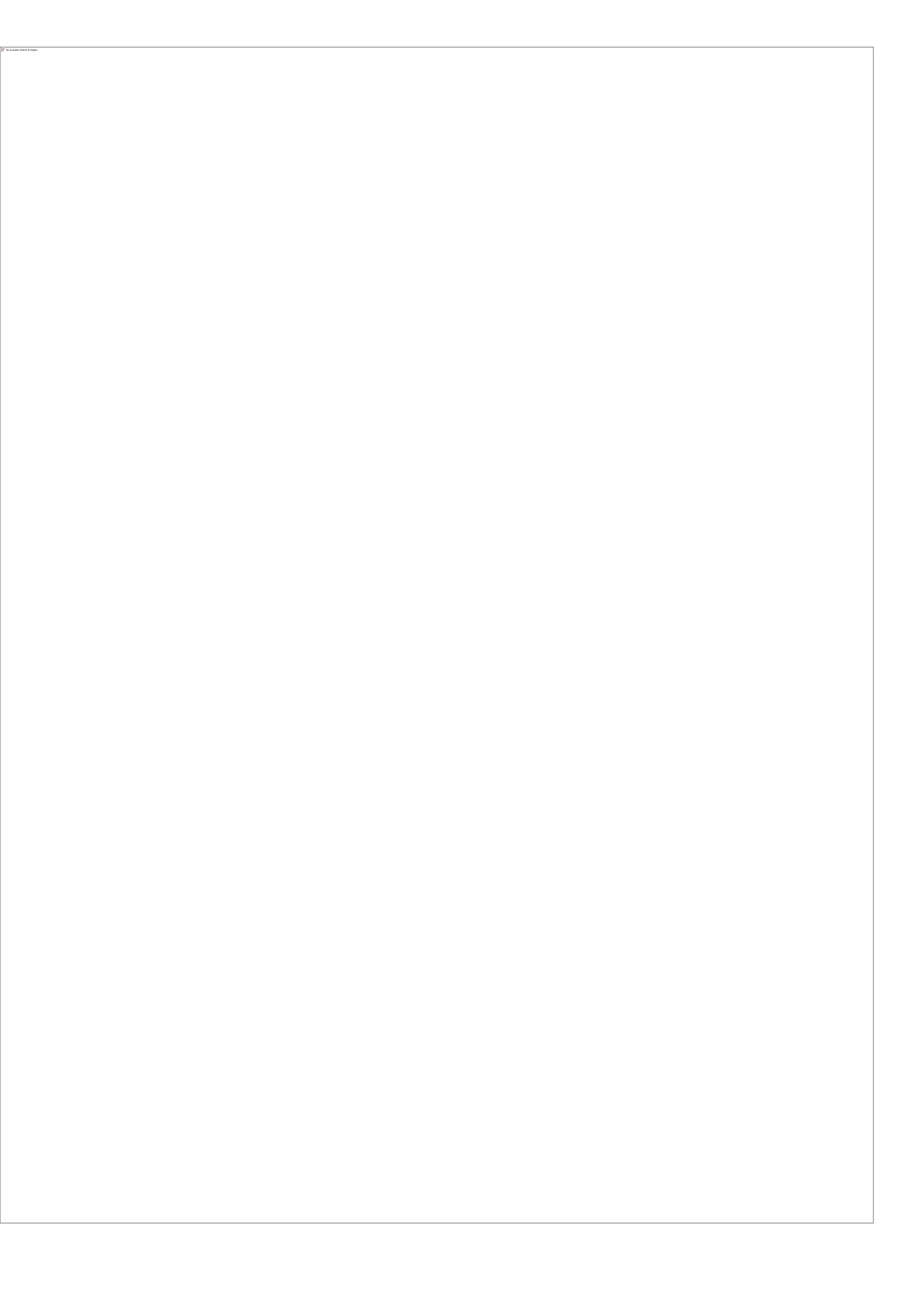
Figura 6.3 *Autopista ciudad de México-Toluca*

6.3 CLASIFICACION DE UNA RED VIAL

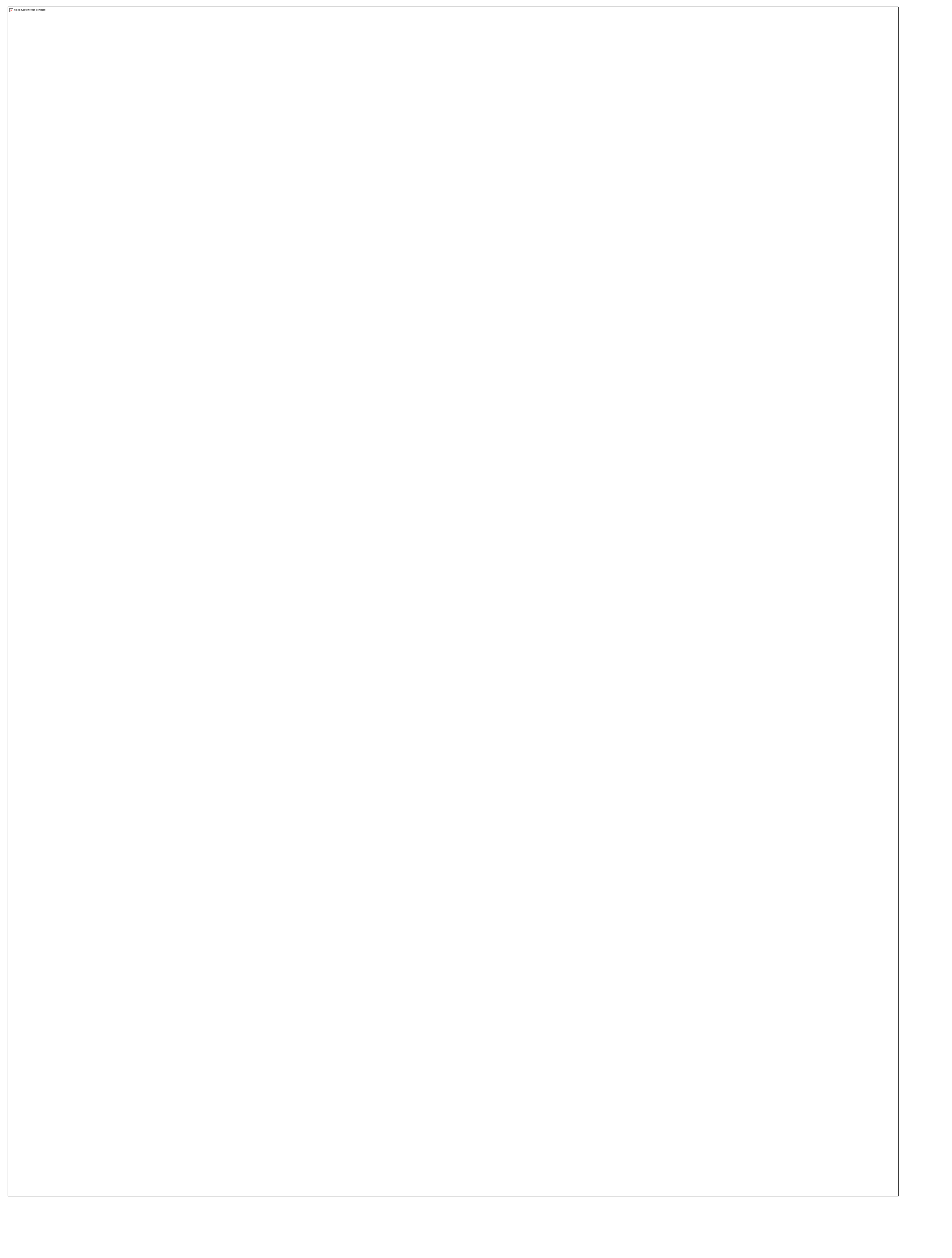
6.3.1 Clasificación funcional

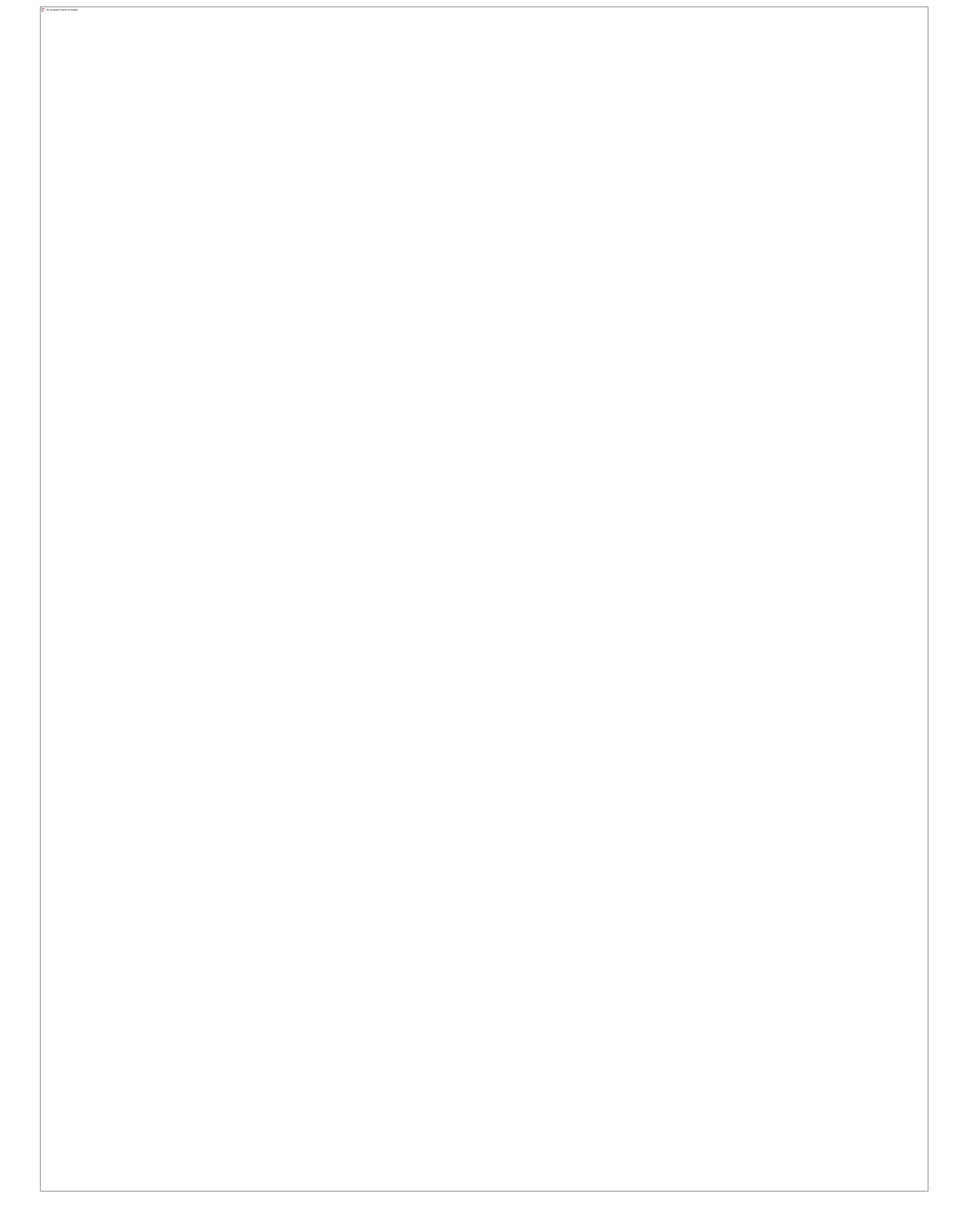
Dentro de un criterio amplio de planeación, la red vial, tanto rural como urbana, se debe clasificar de tal manera que se puedan fijar funciones es-

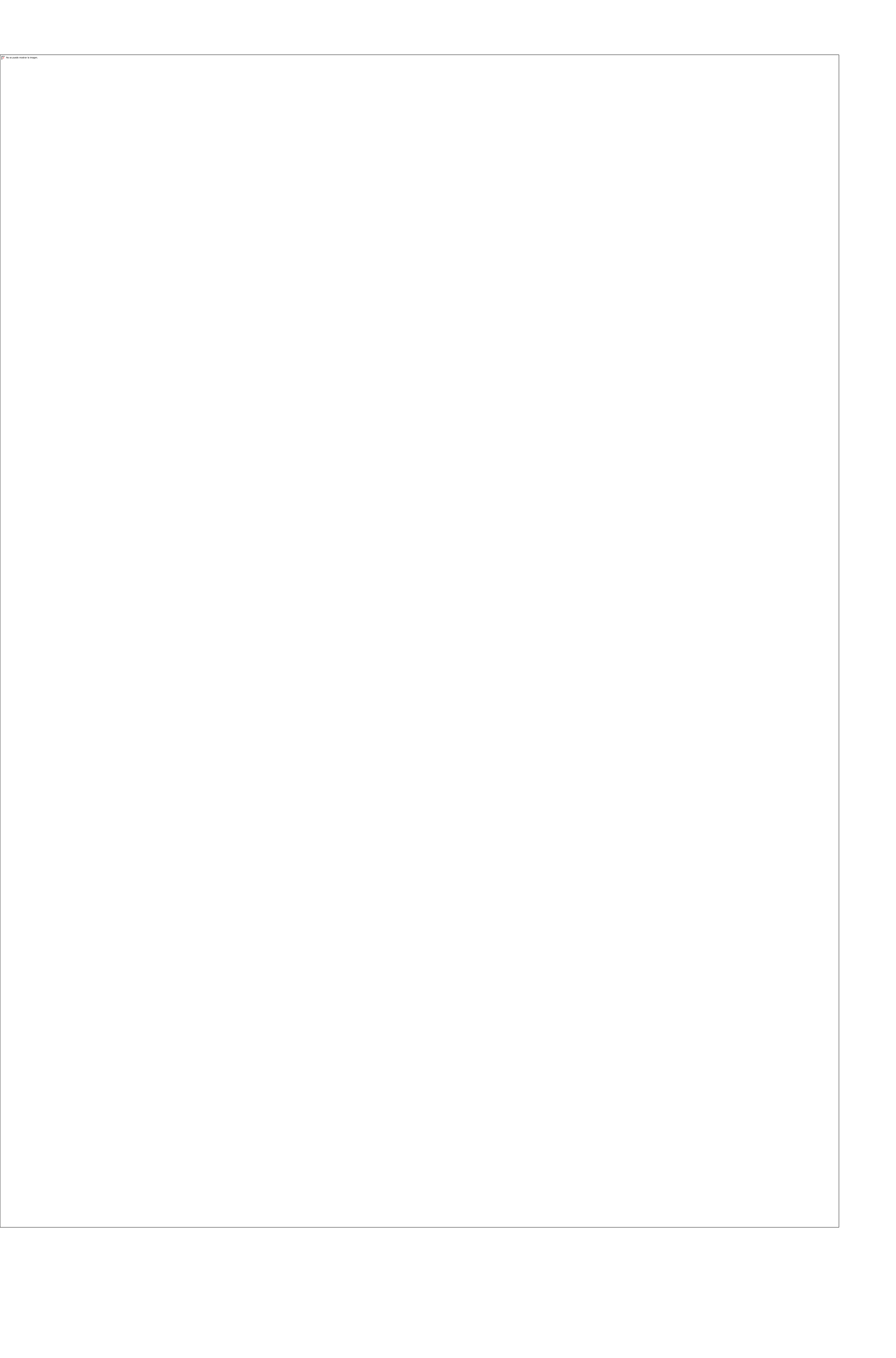

No se puede mostrar la imagen.

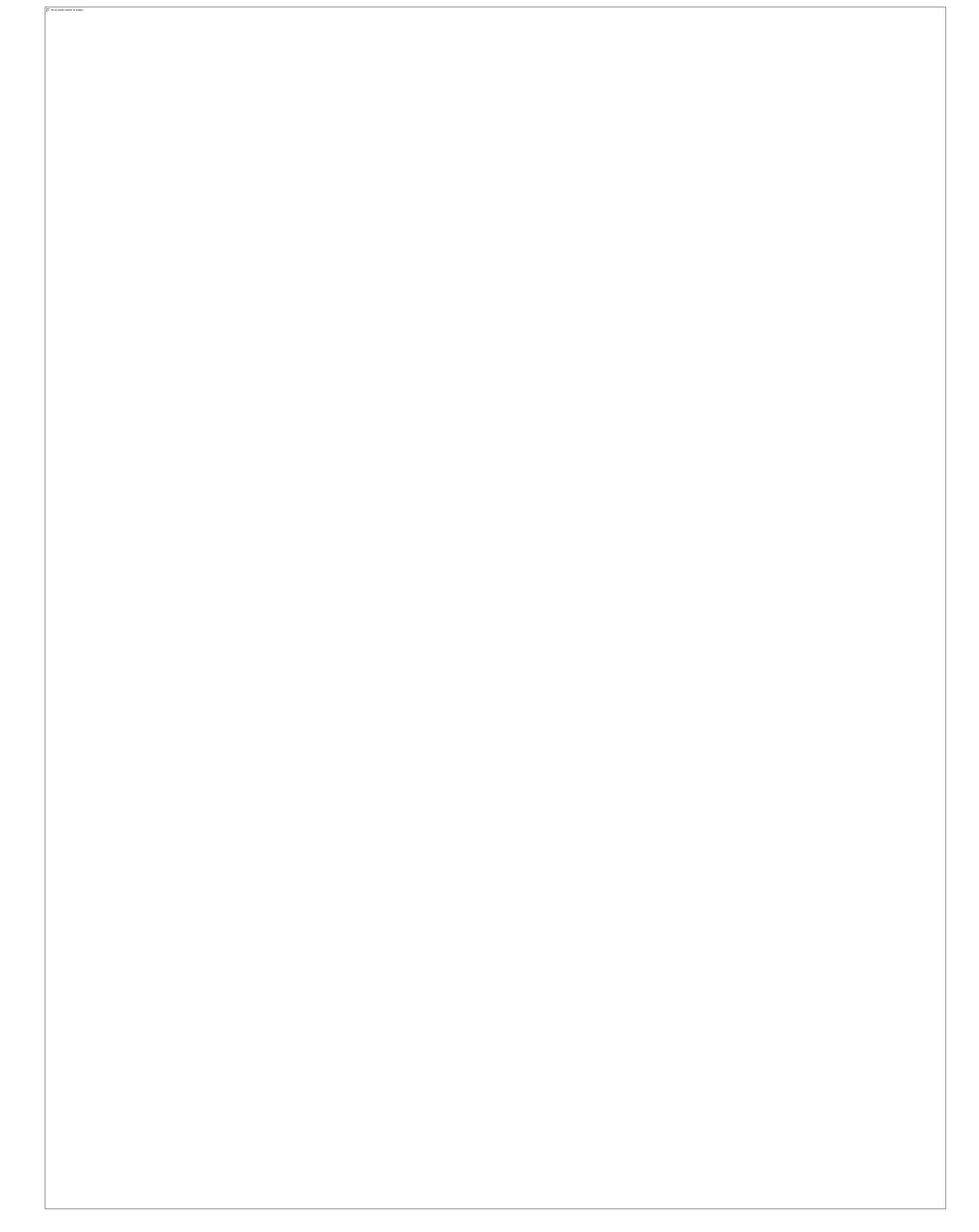

No se puede mostrar la imagen.

No se puede mostrar la imagen.

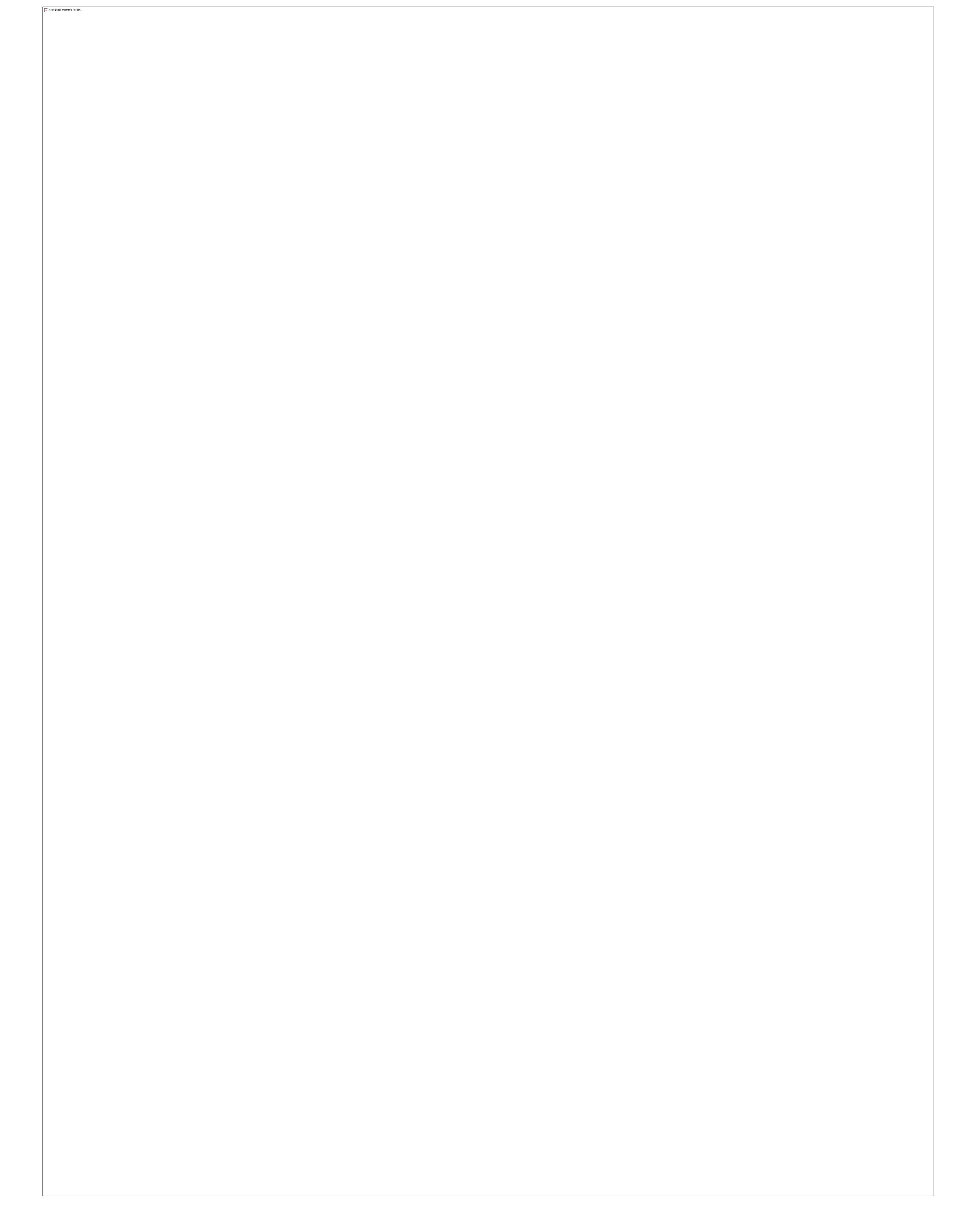

No se puede mostrar la imagen.

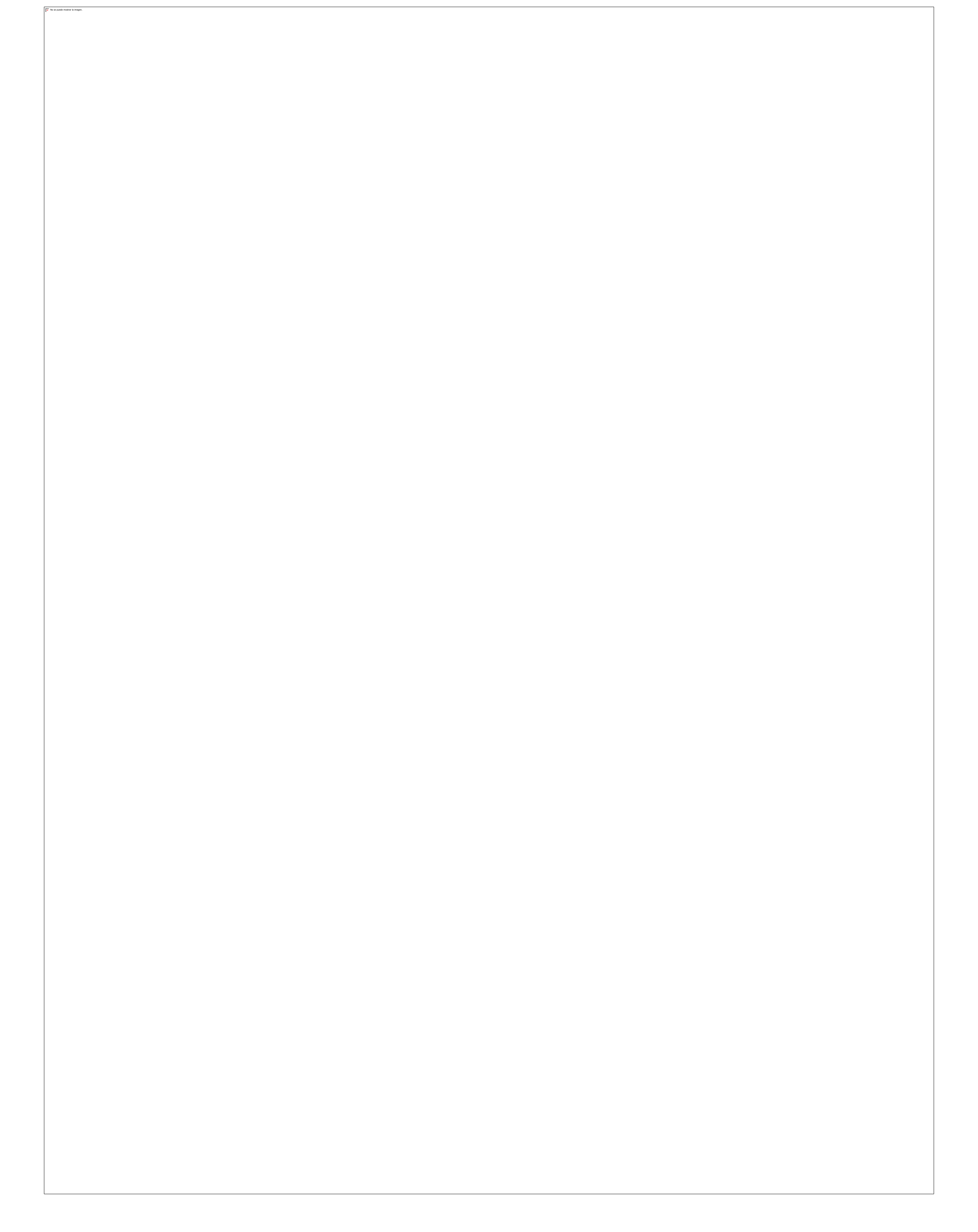

No se puede mostrar la imagen.

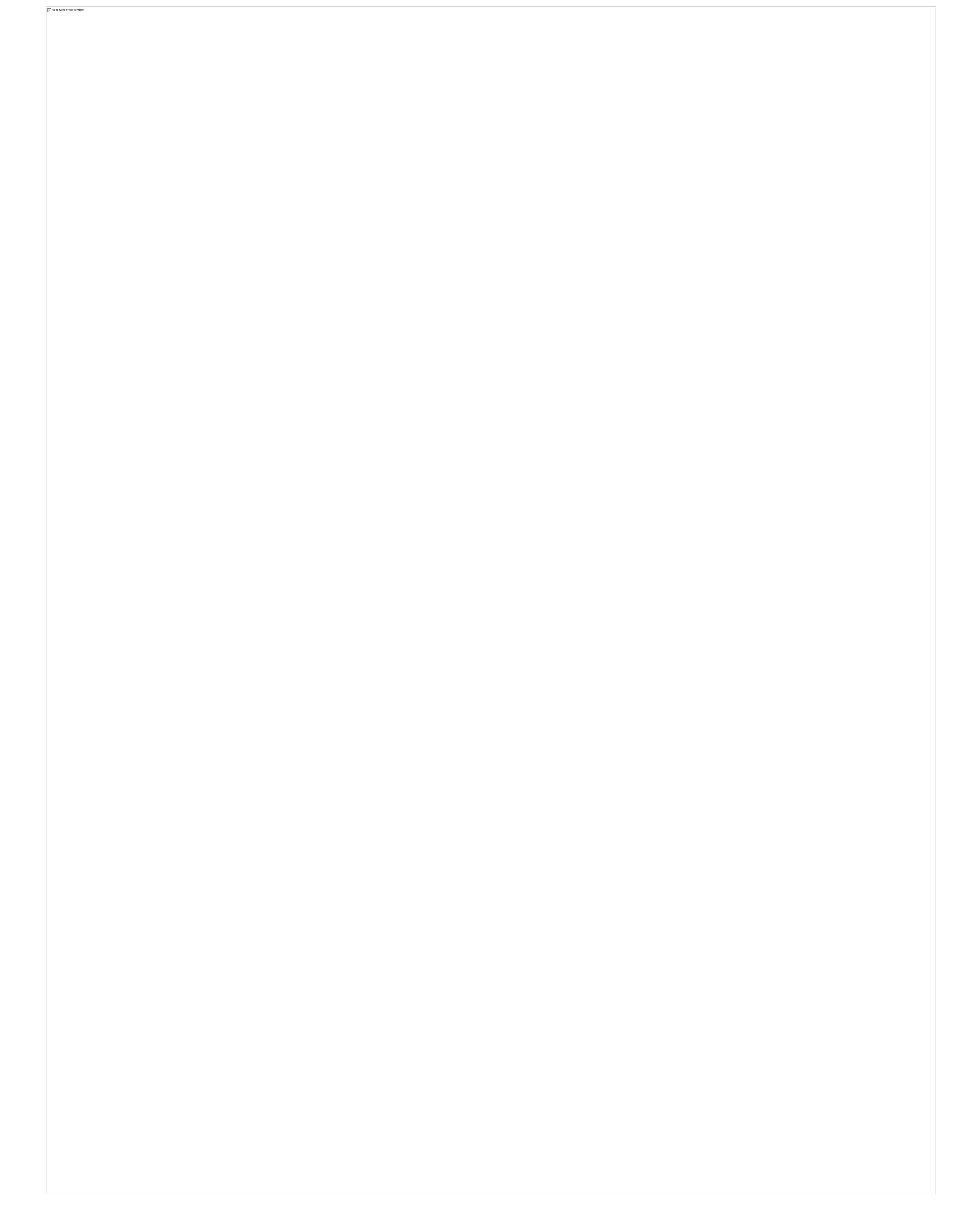

No se puede mostrar la imagen.

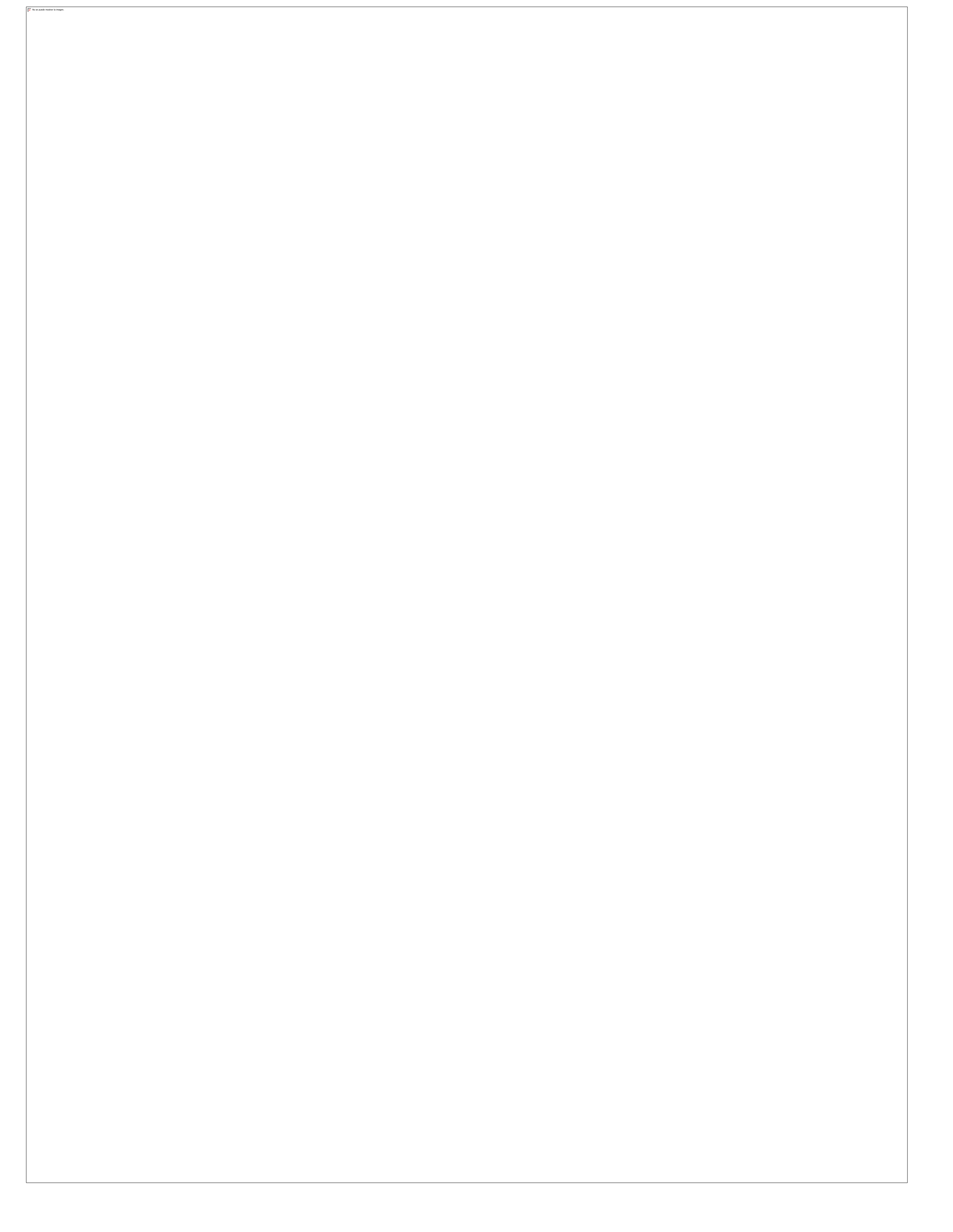

No se puede mostrar la imagen.

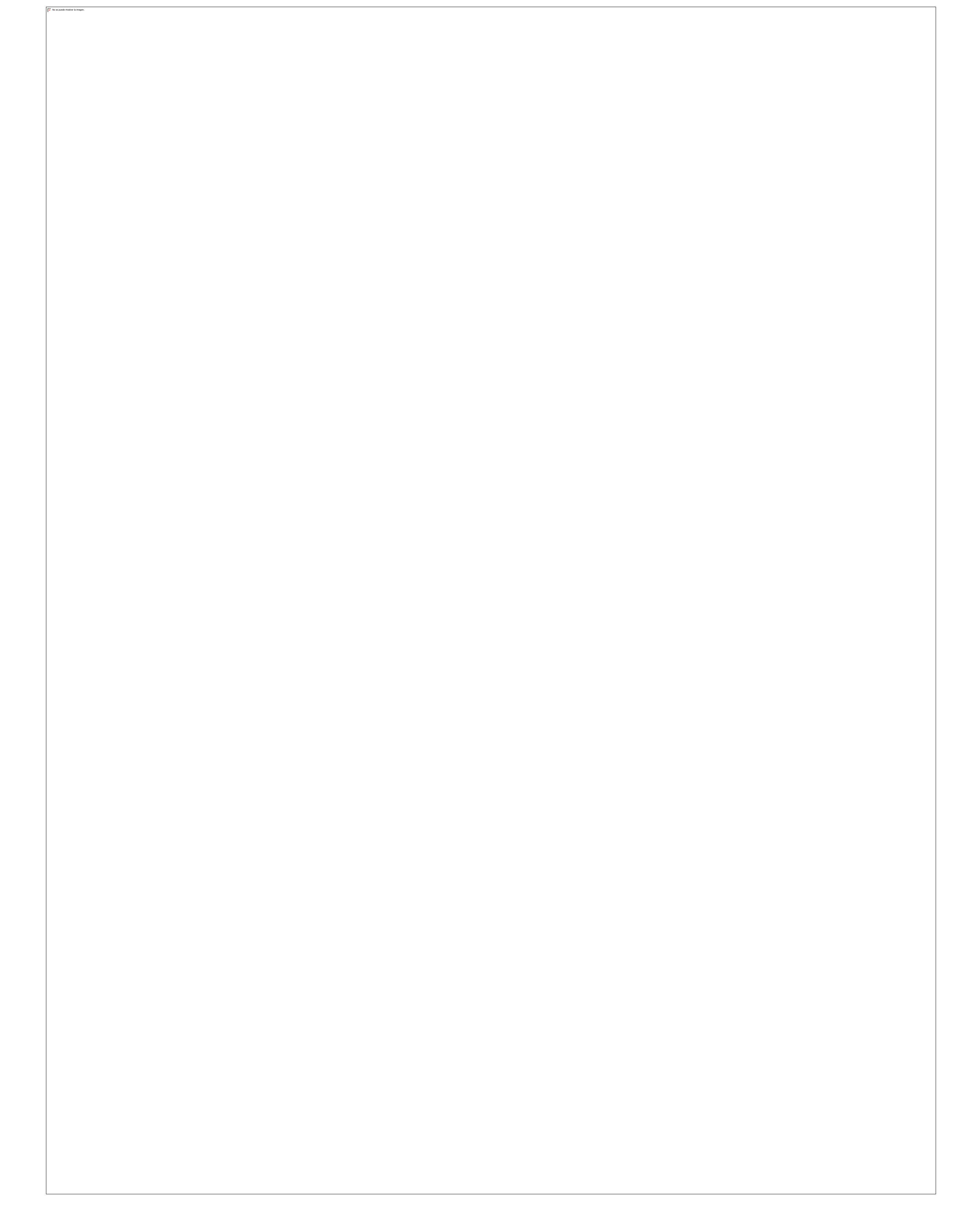
No se puede mostrar la imagen.

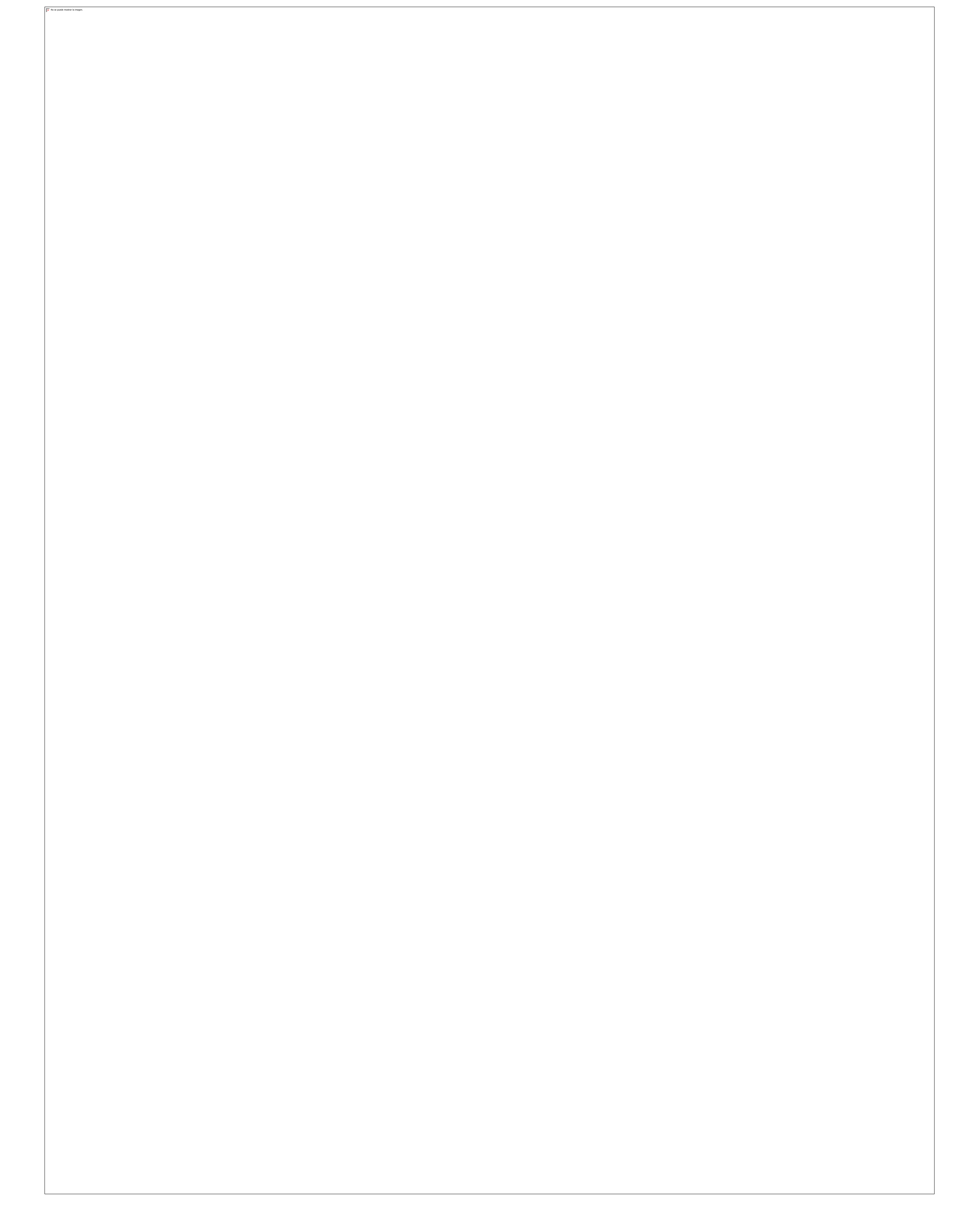

No se puede mostrar la imagen.

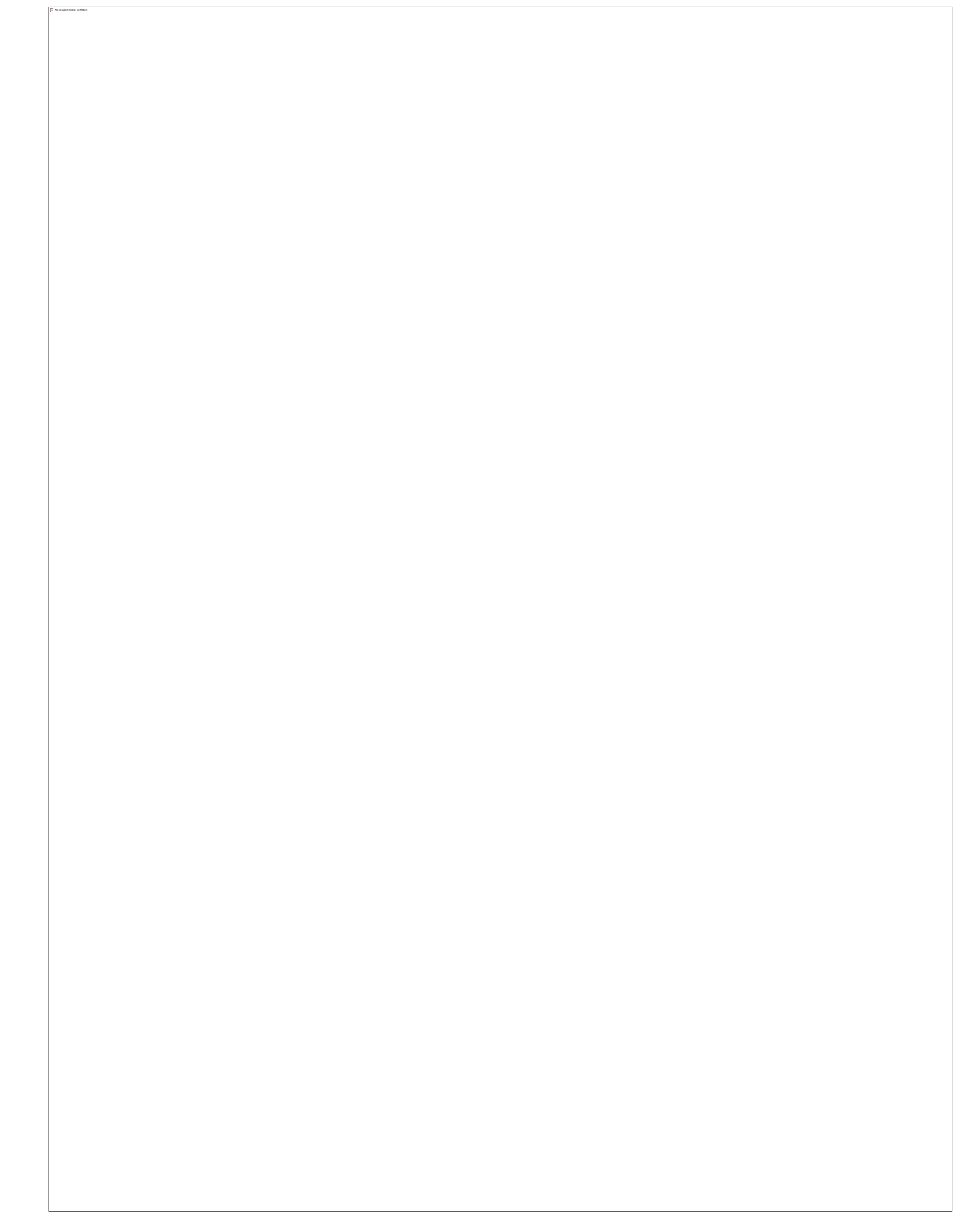

No se puede mostrar la imagen.

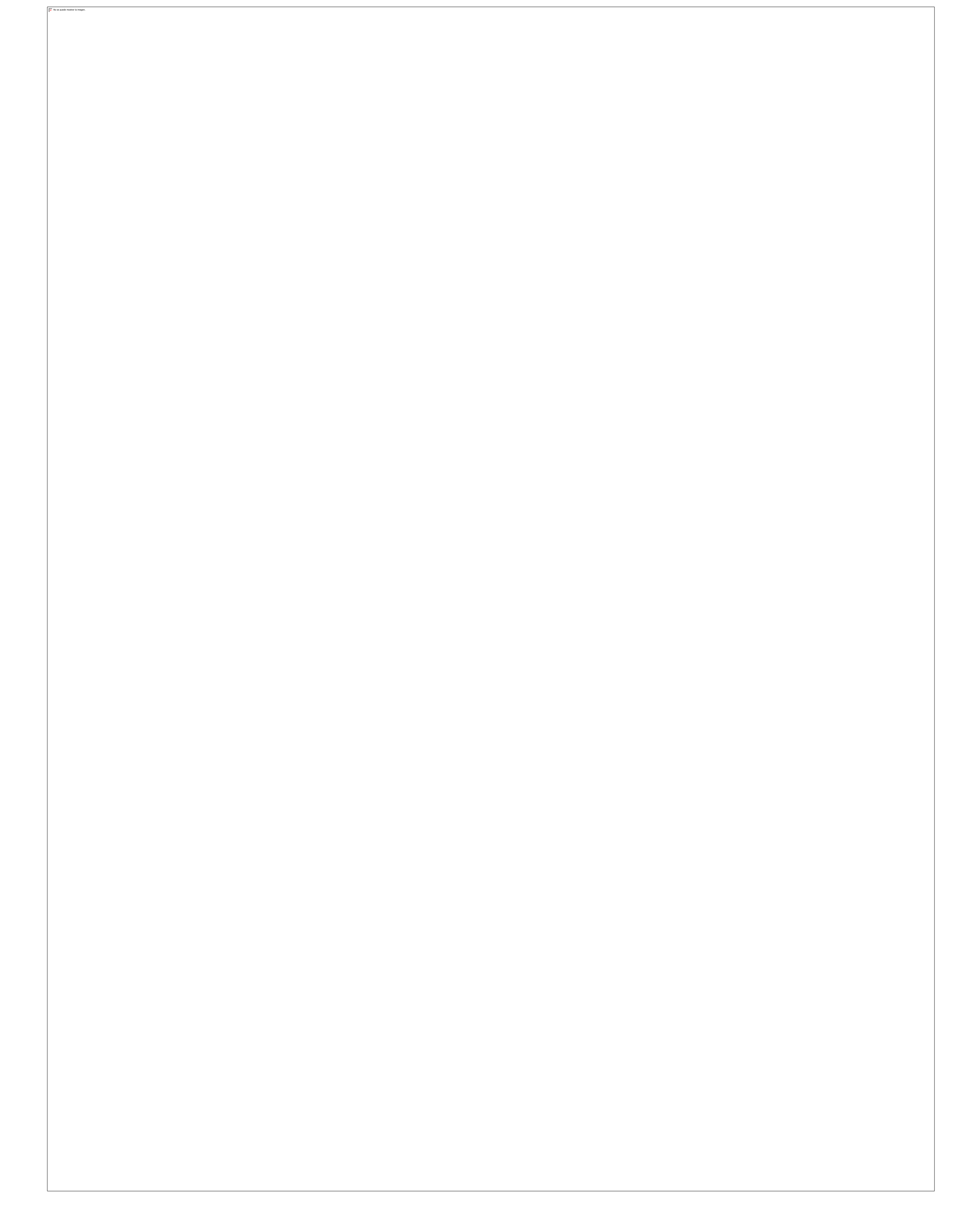

No se puede mostrar la imagen.

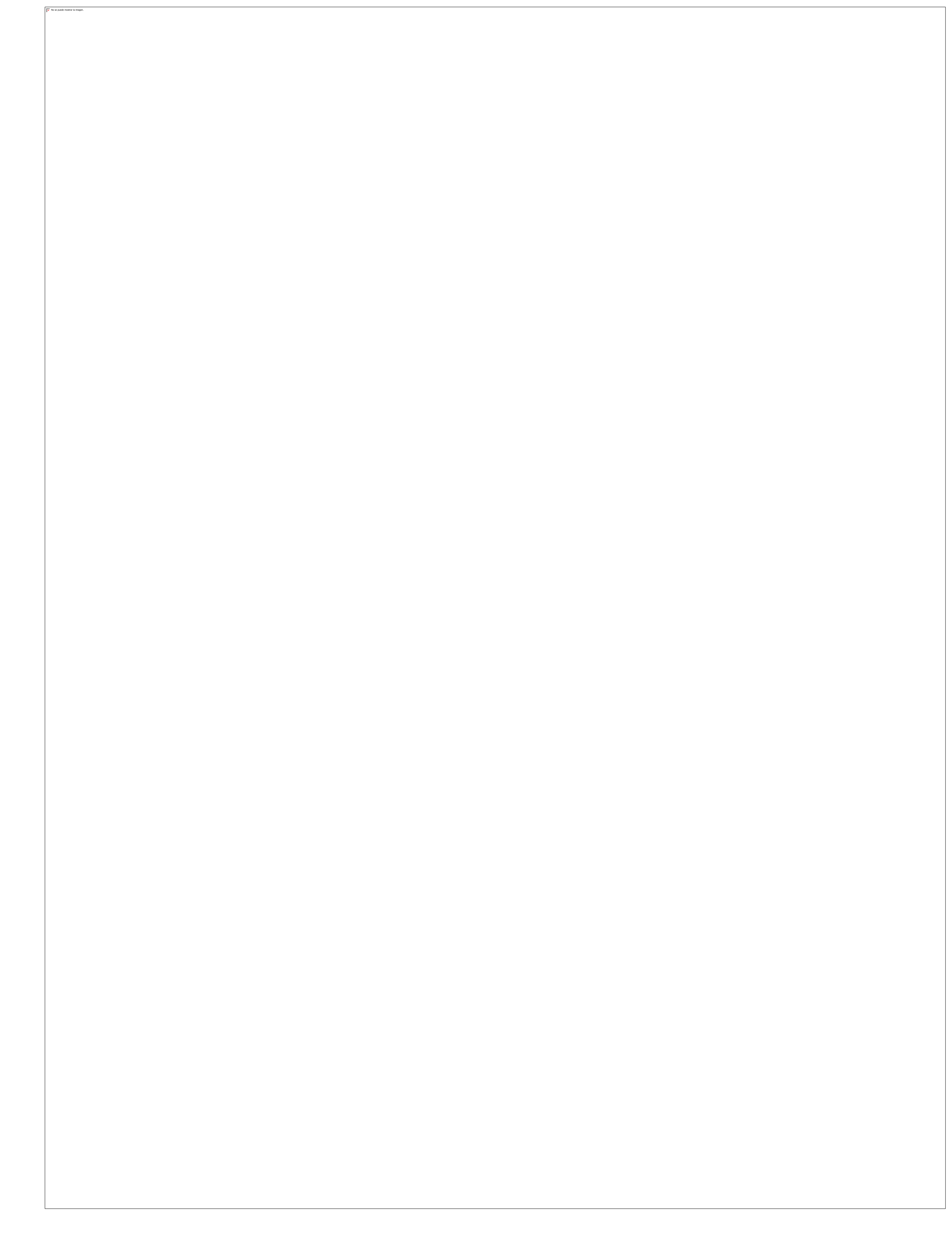

No se puede mostrar la imagen.

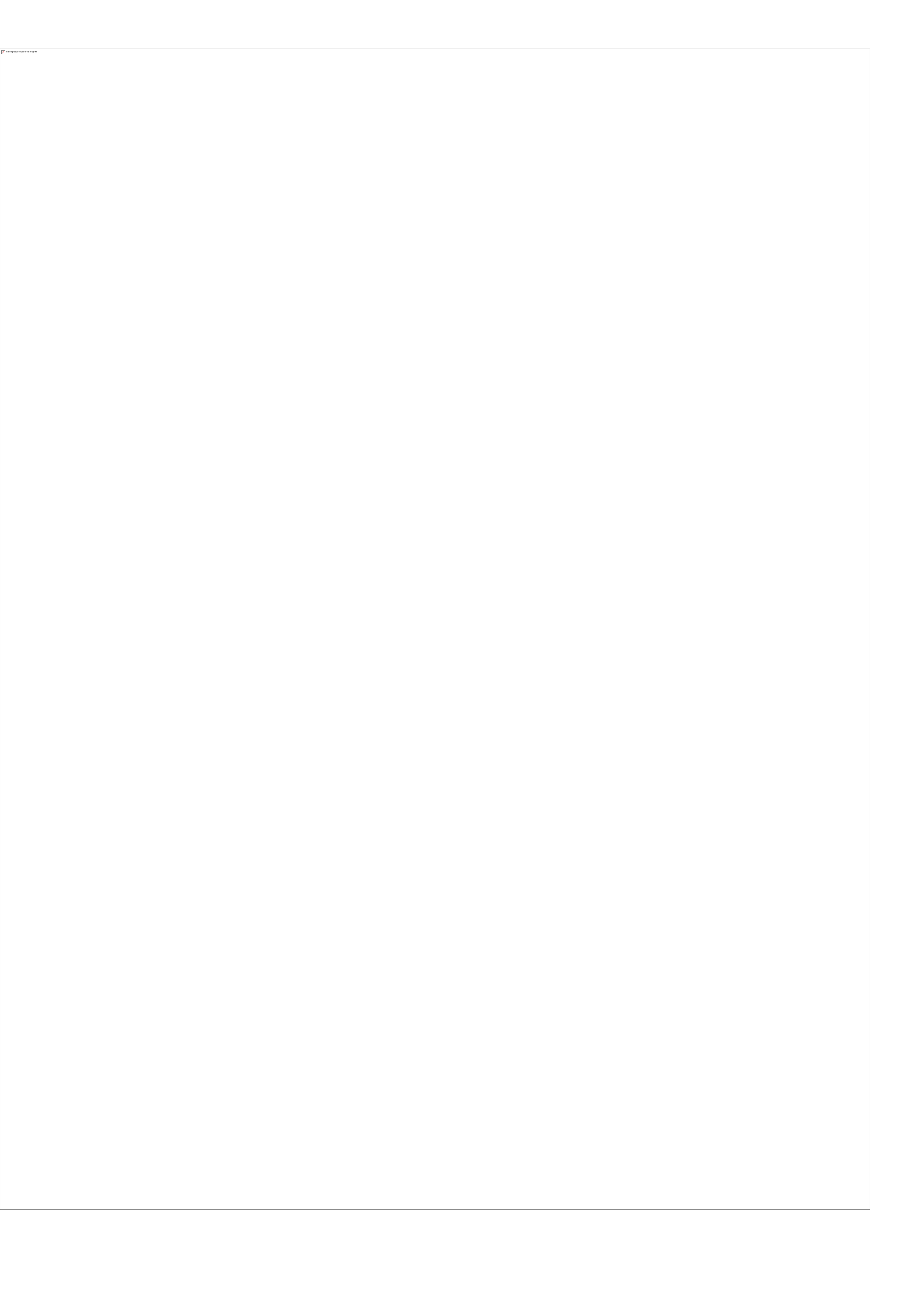

No se puede mostrar la imagen.

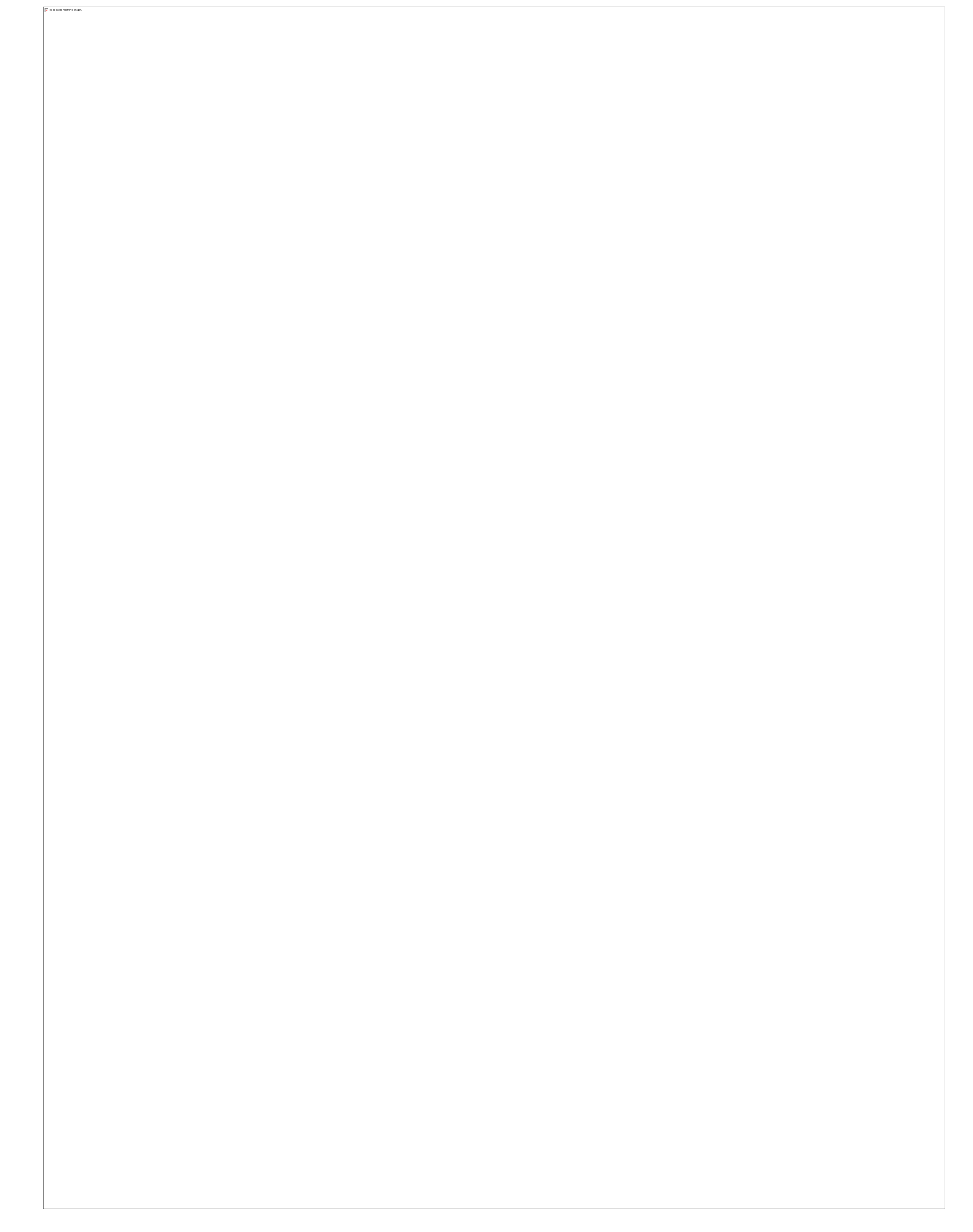

No se puede mostrar la imagen.

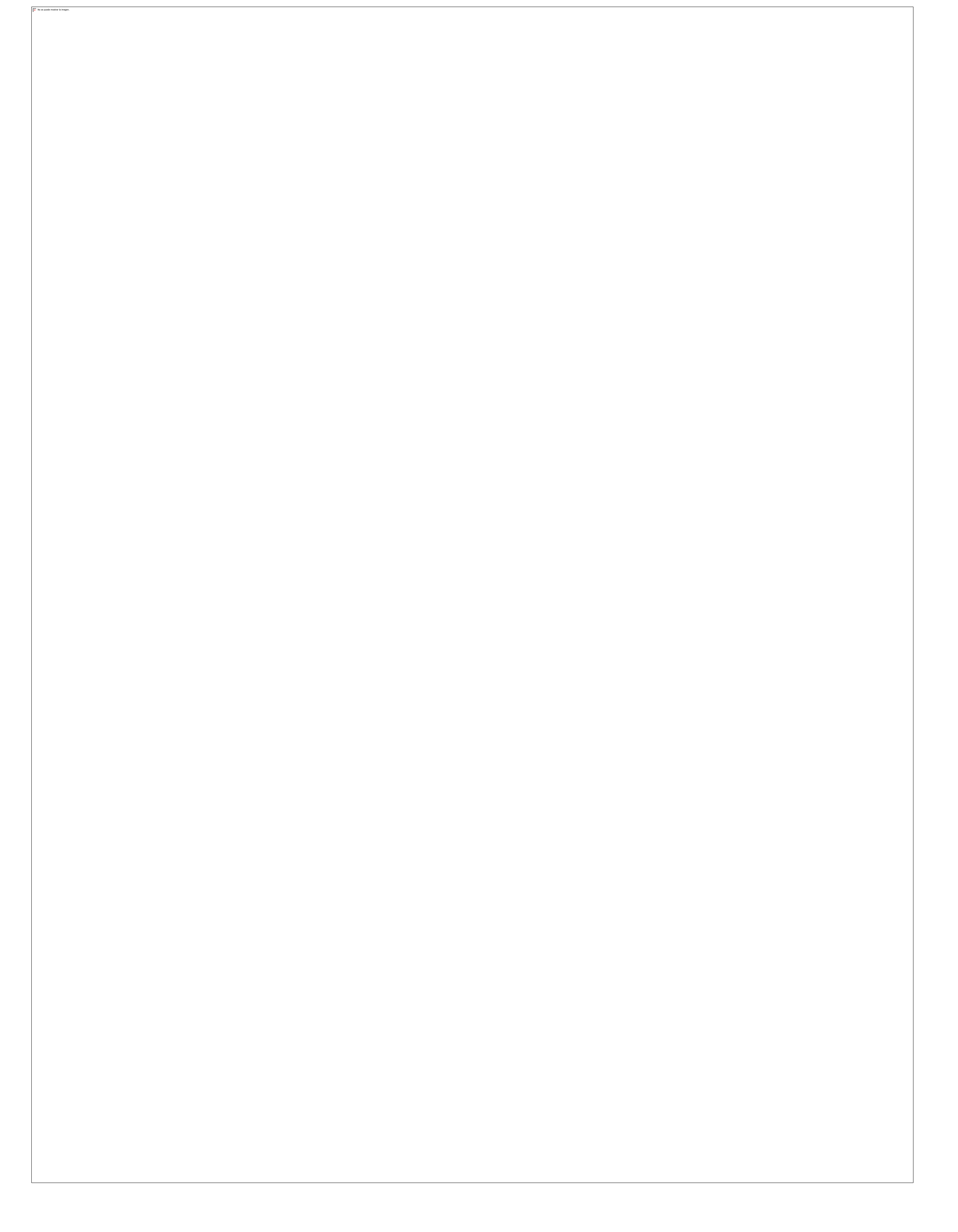

No se puede mostrar la imagen.

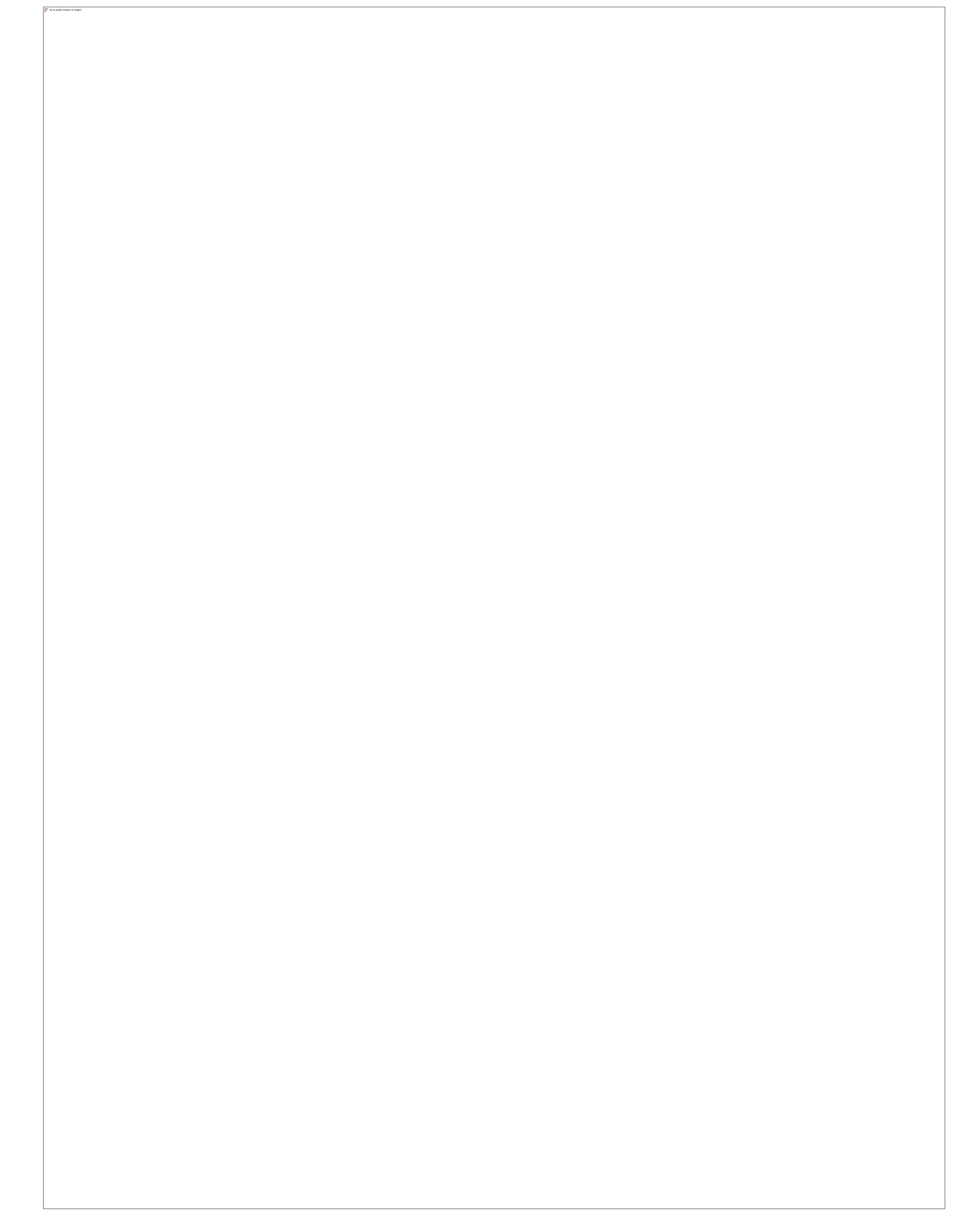

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

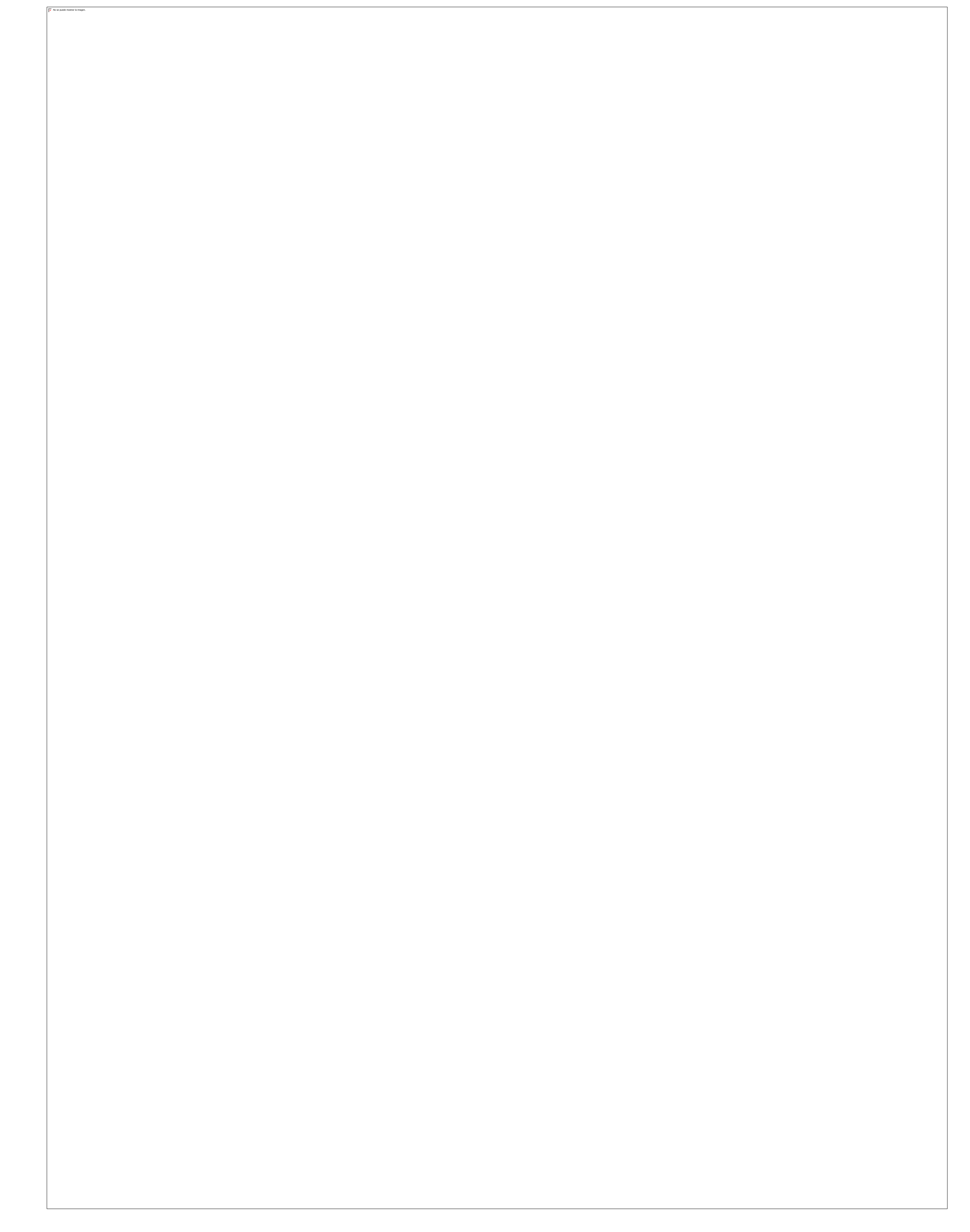

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

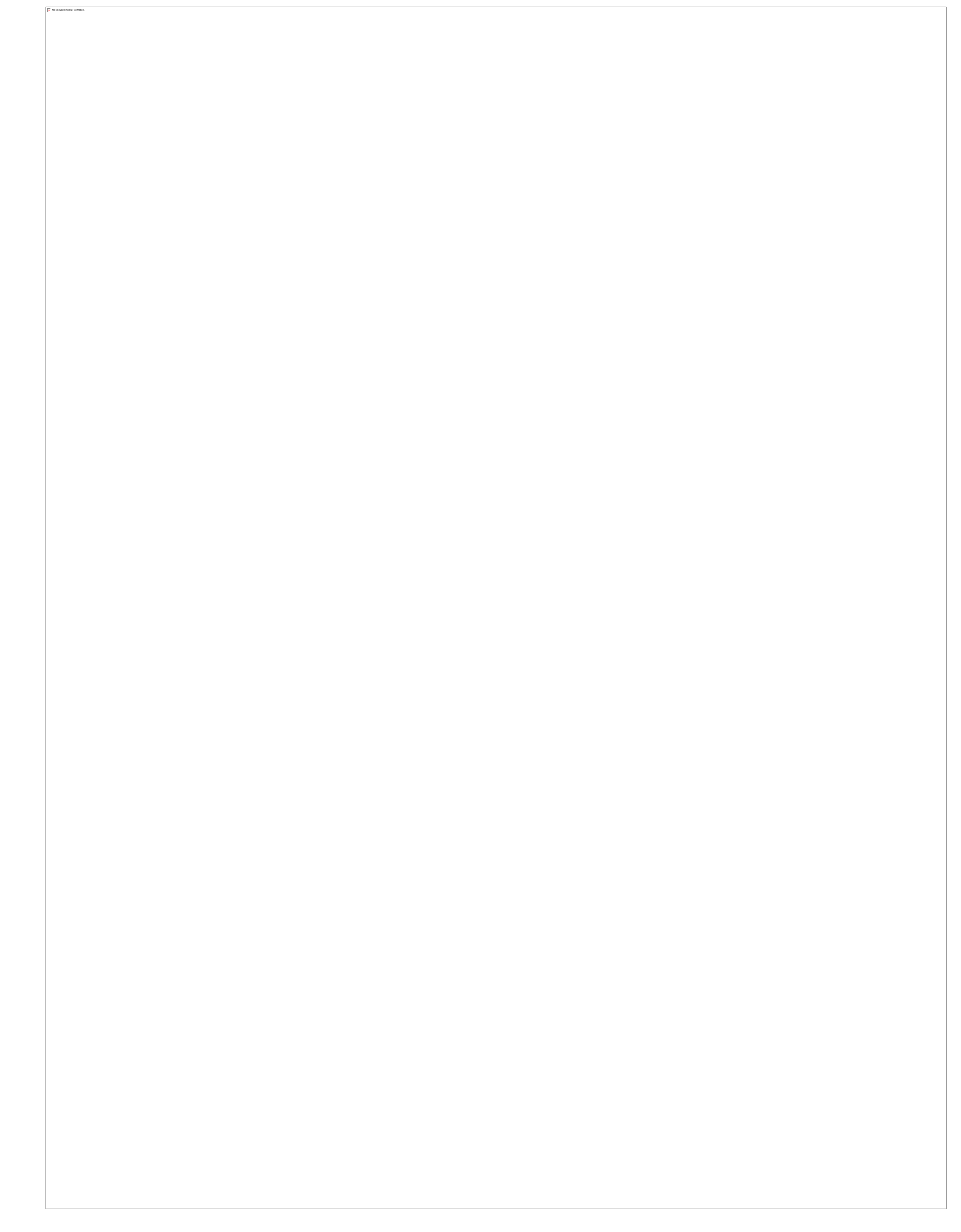

No se puede mostrar la imagen.

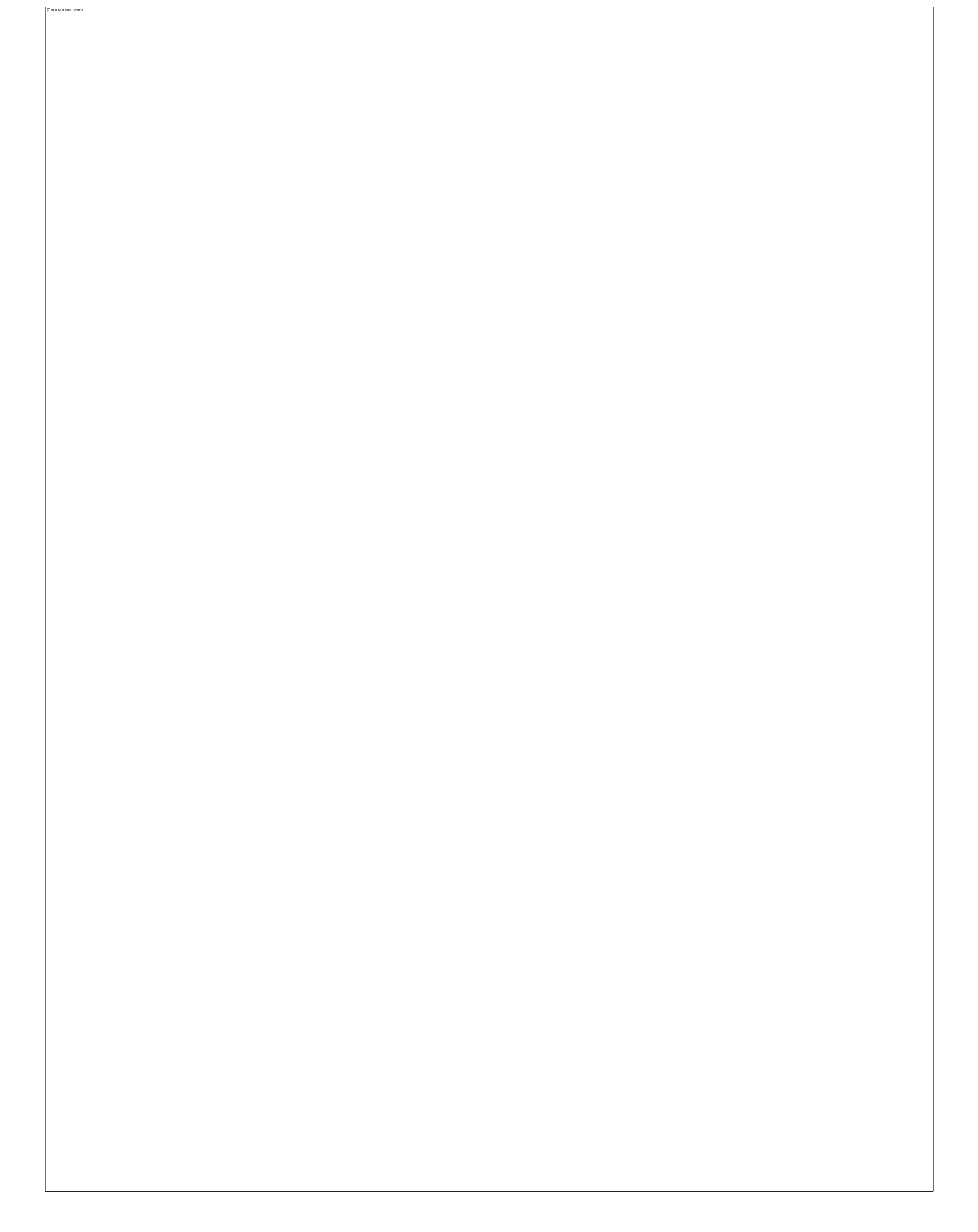

No se puede mostrar la imagen.

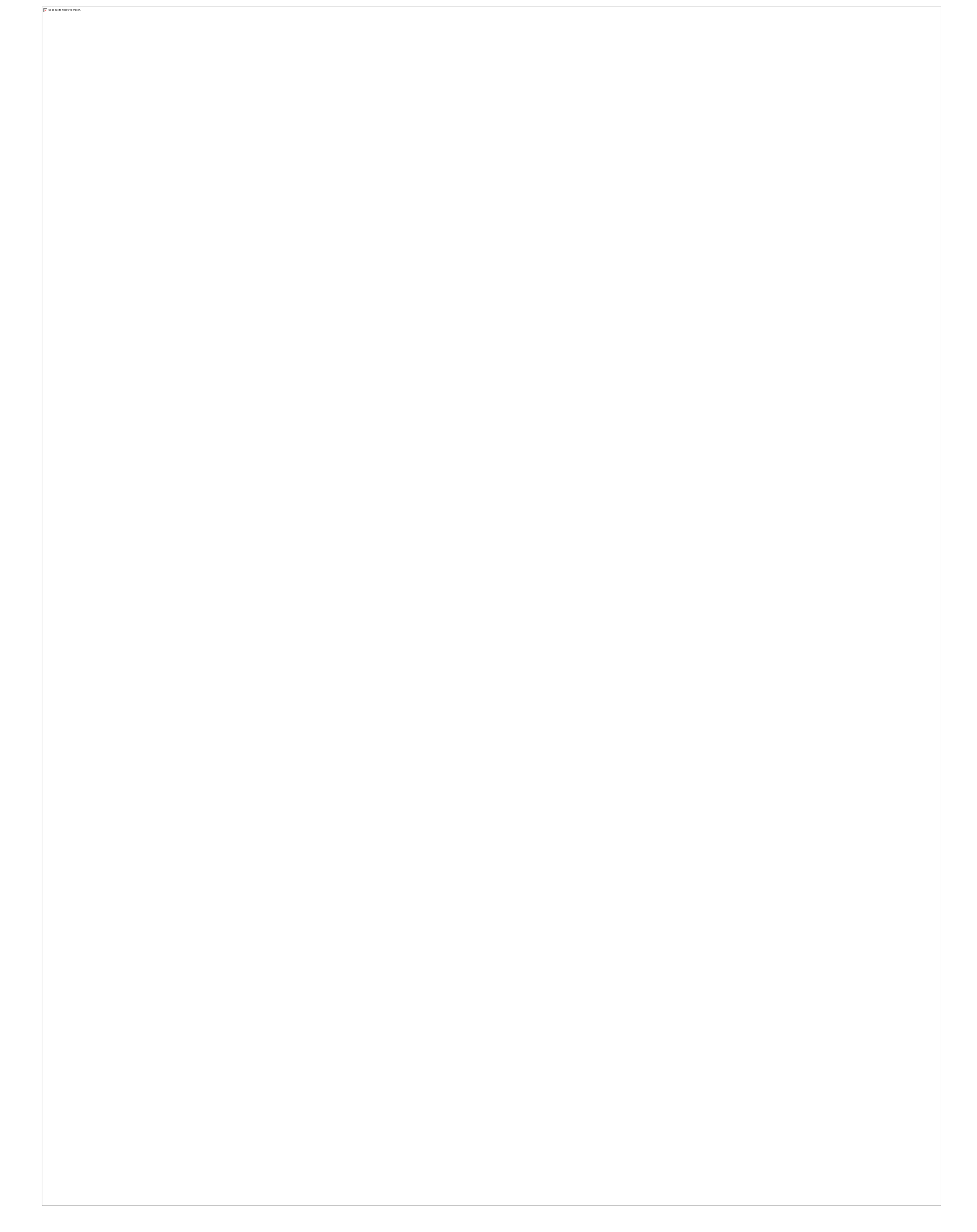
No se puede mostrar la imagen.

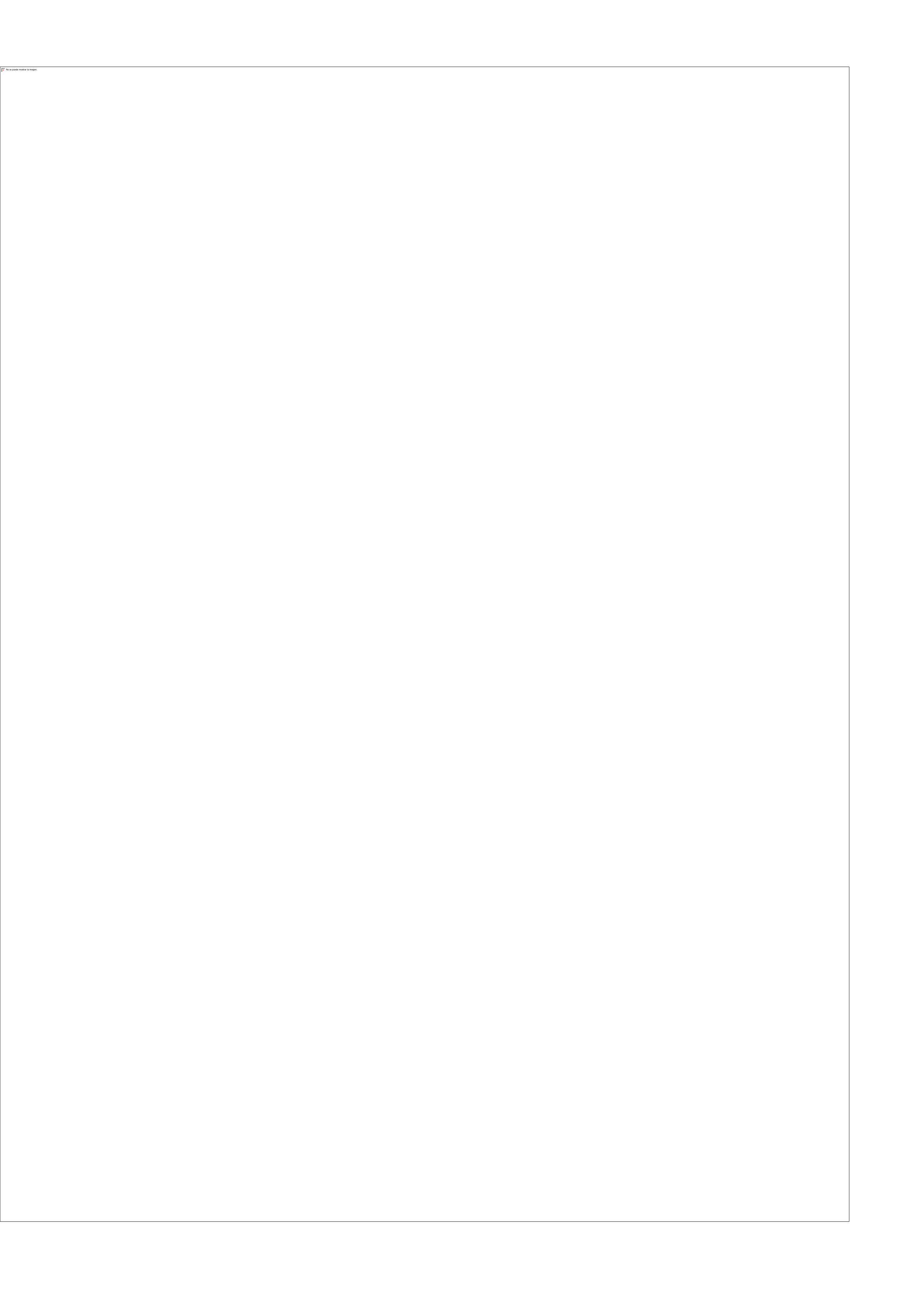

No se puede mostrar la imagen.

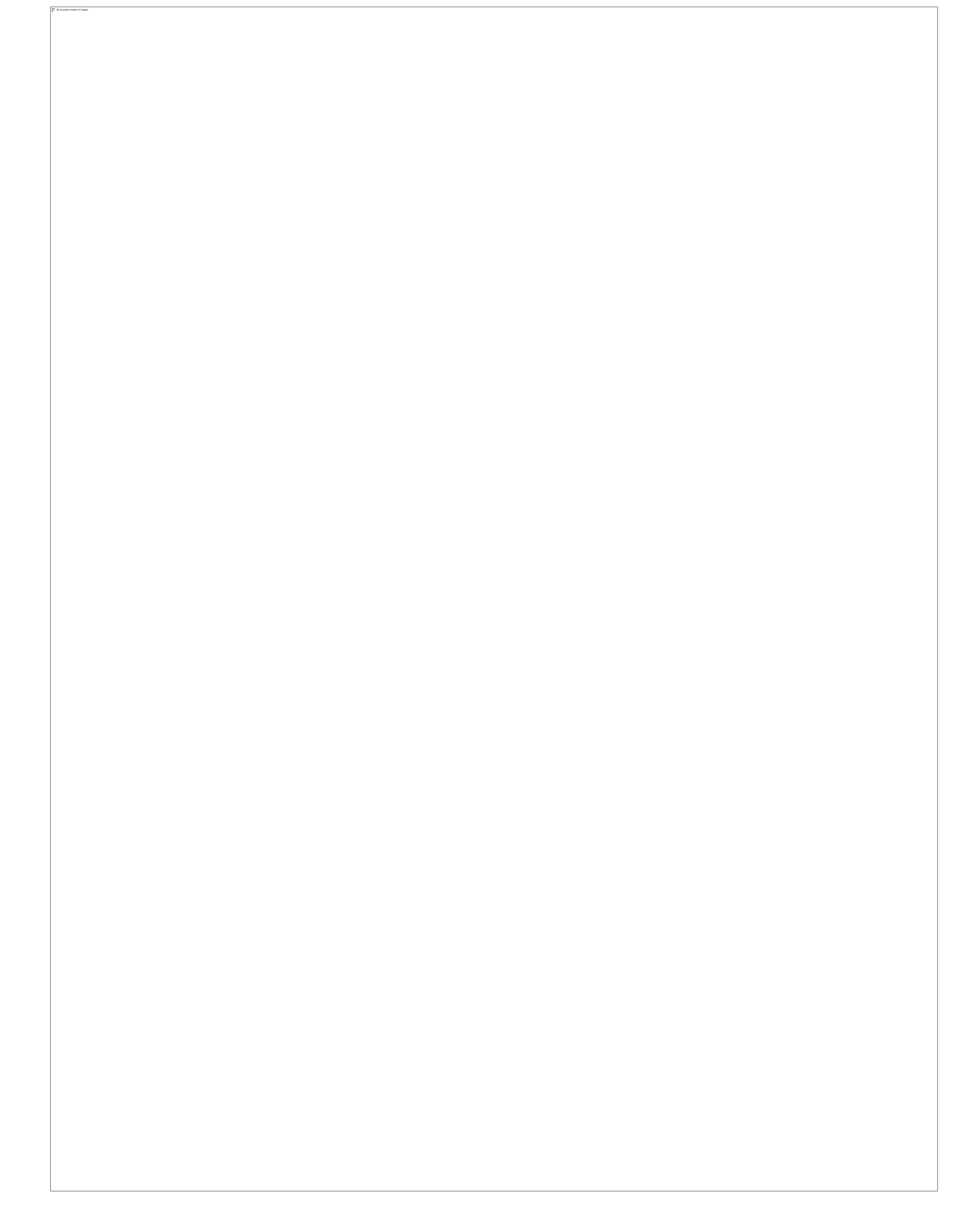
No se puede mostrar la imagen.

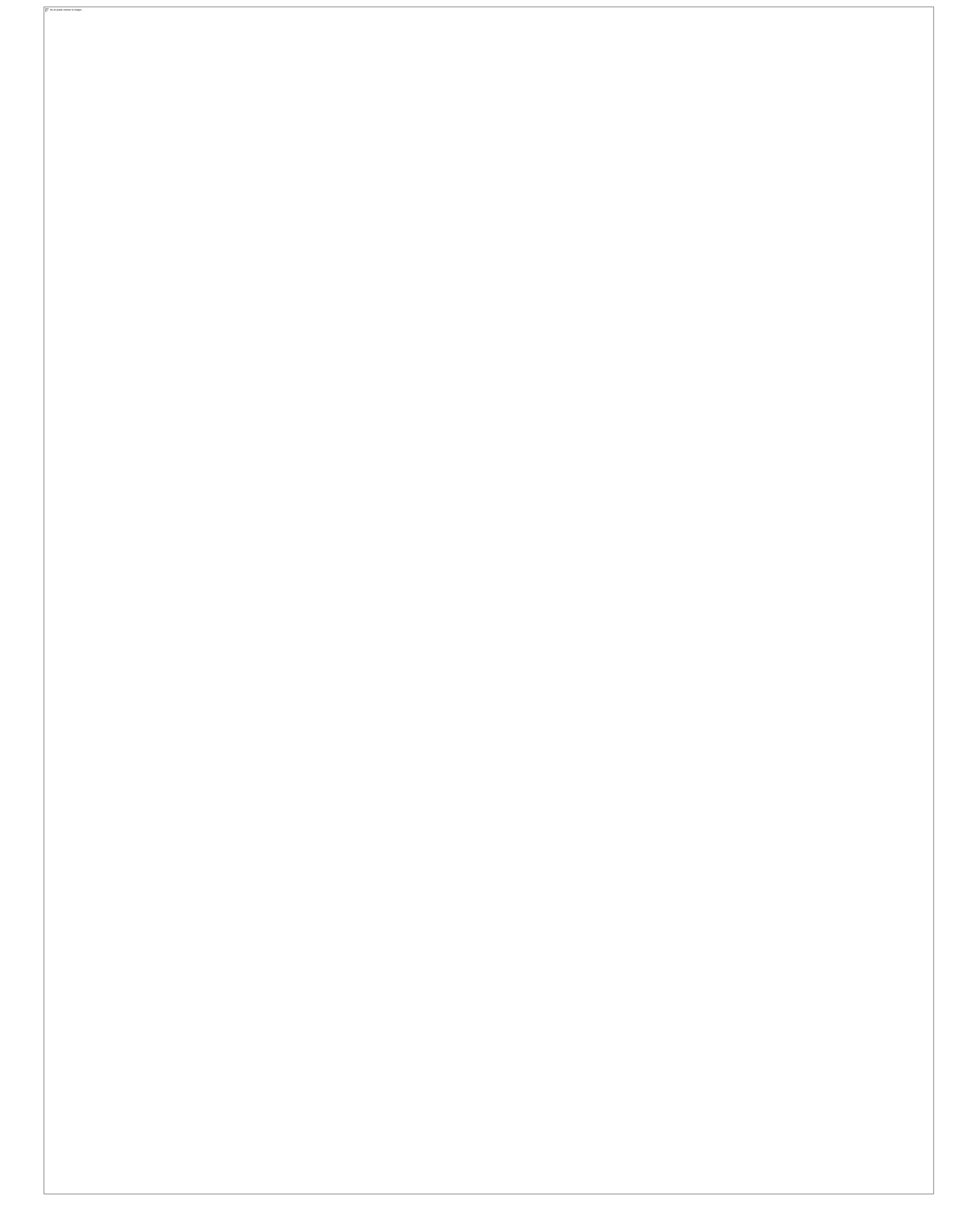

No se puede mostrar la imagen.

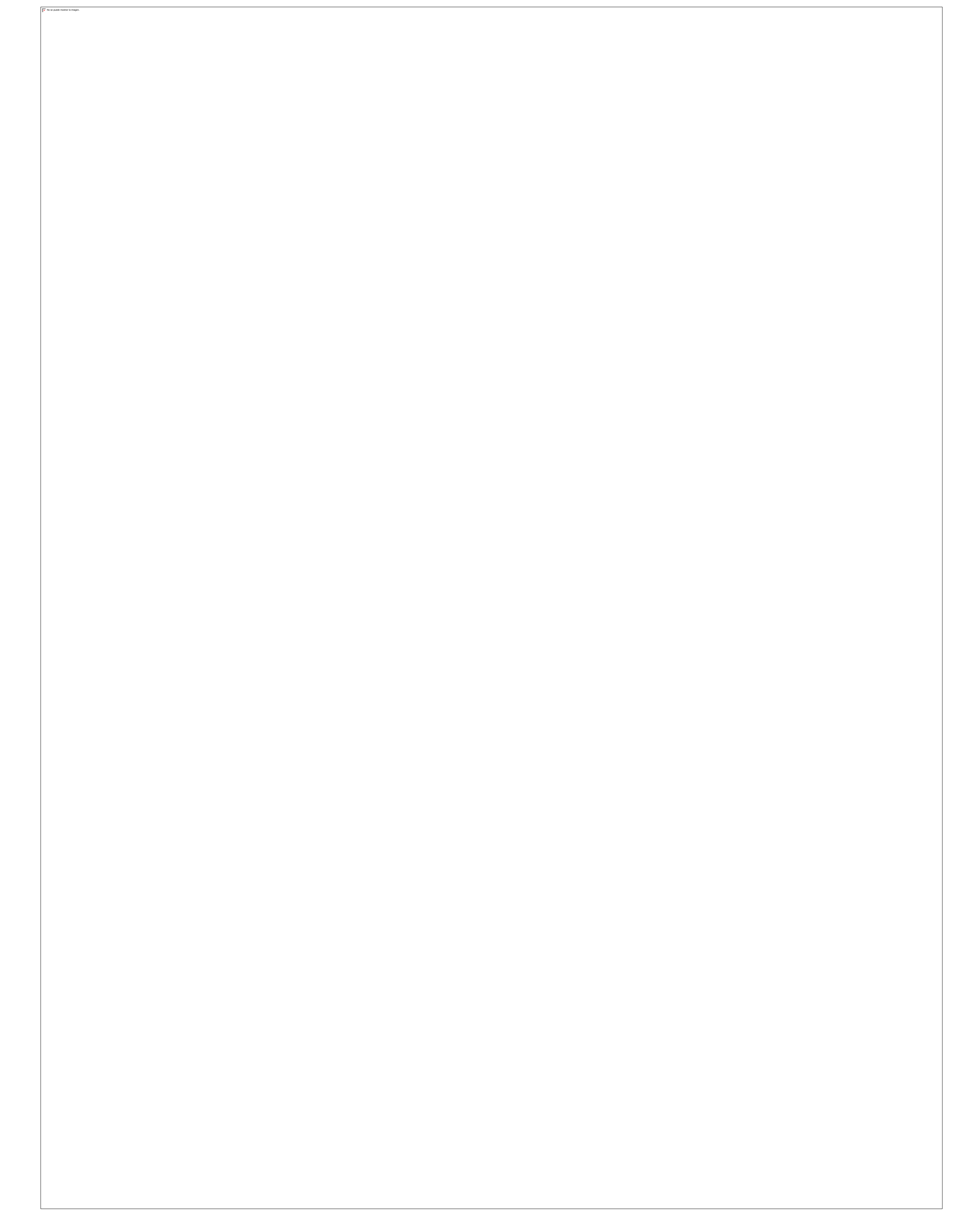

No se puede mostrar la imagen.

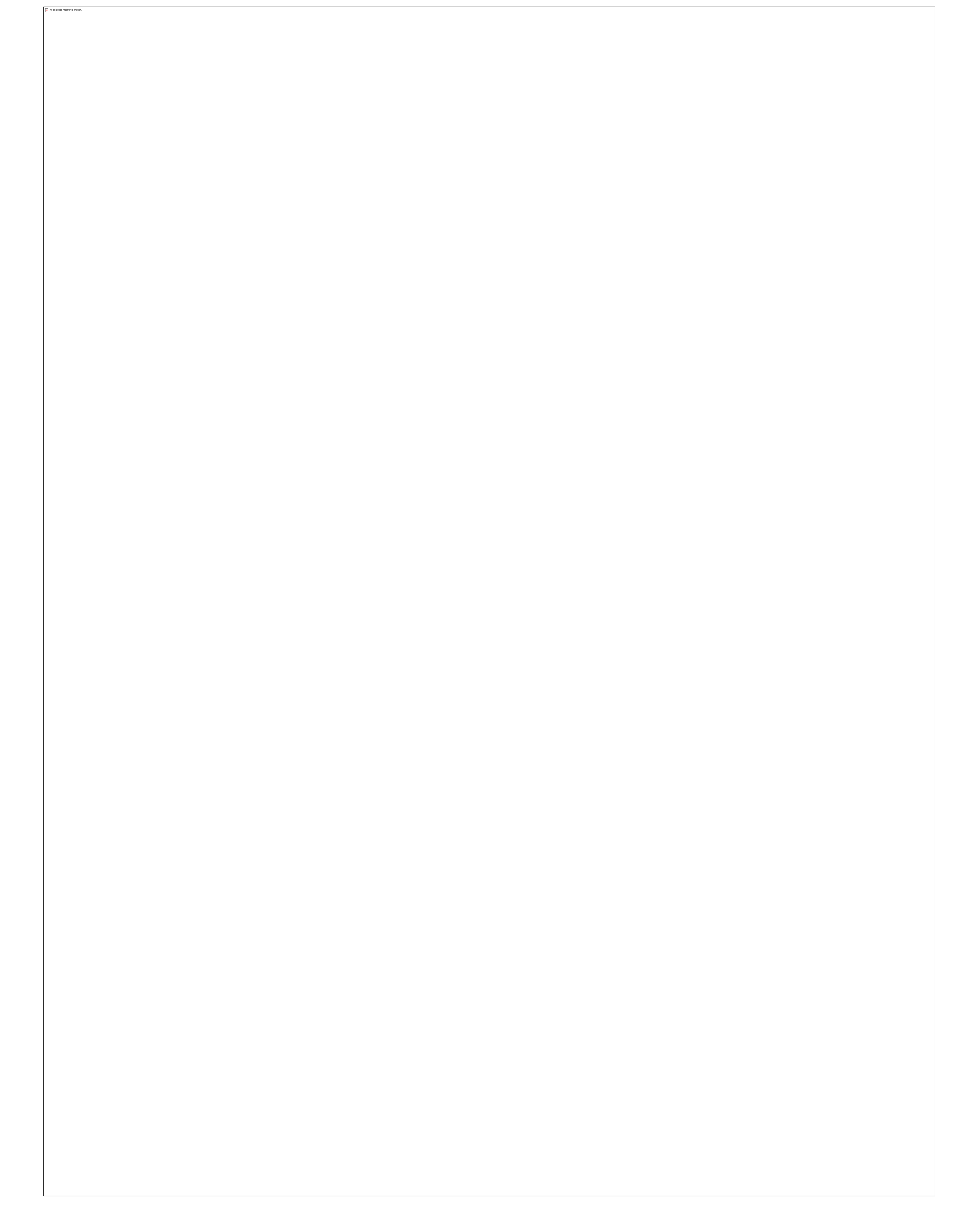

No se puede mostrar la imagen.

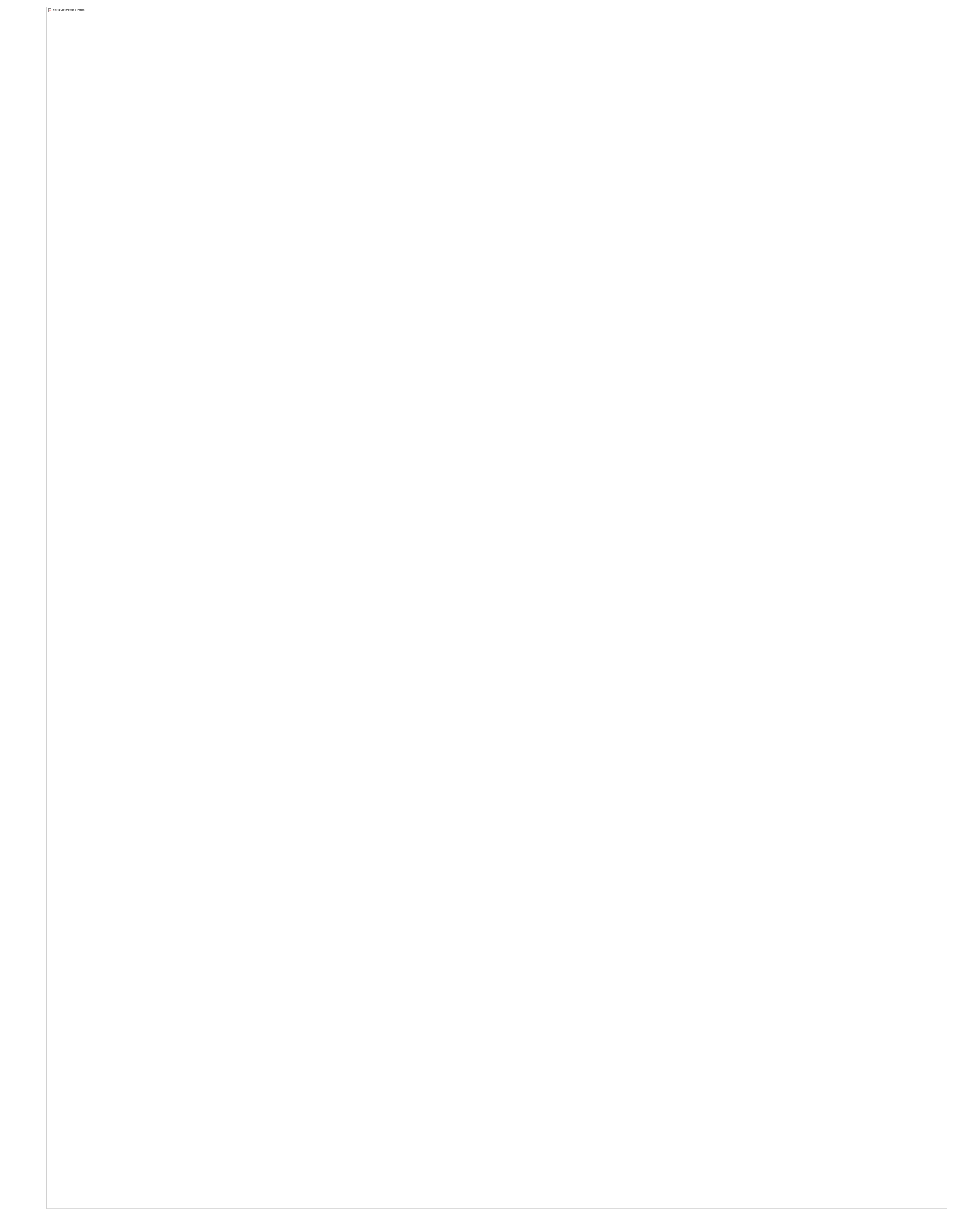

No se puede mostrar la imagen.

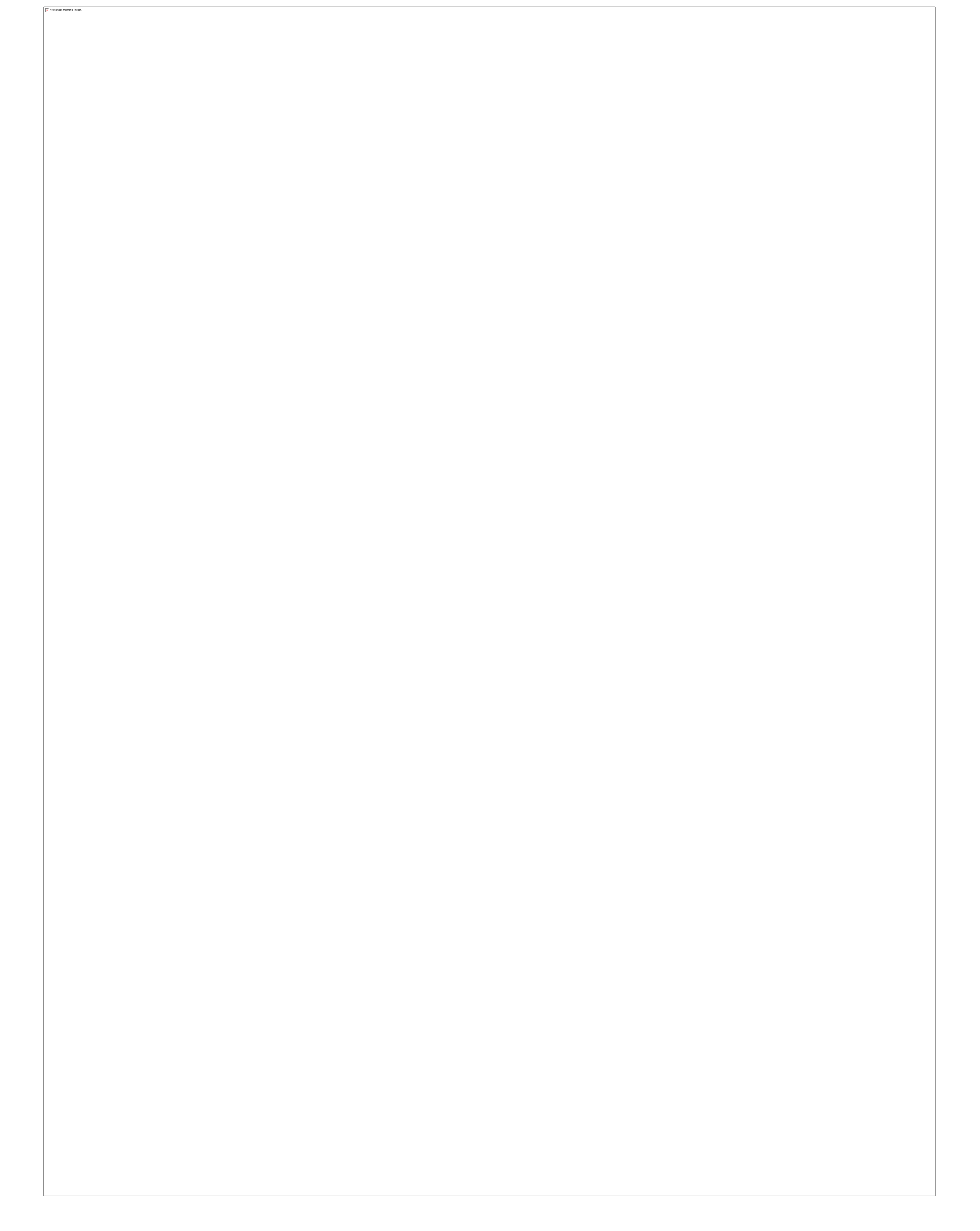

No se puede mostrar la imagen.

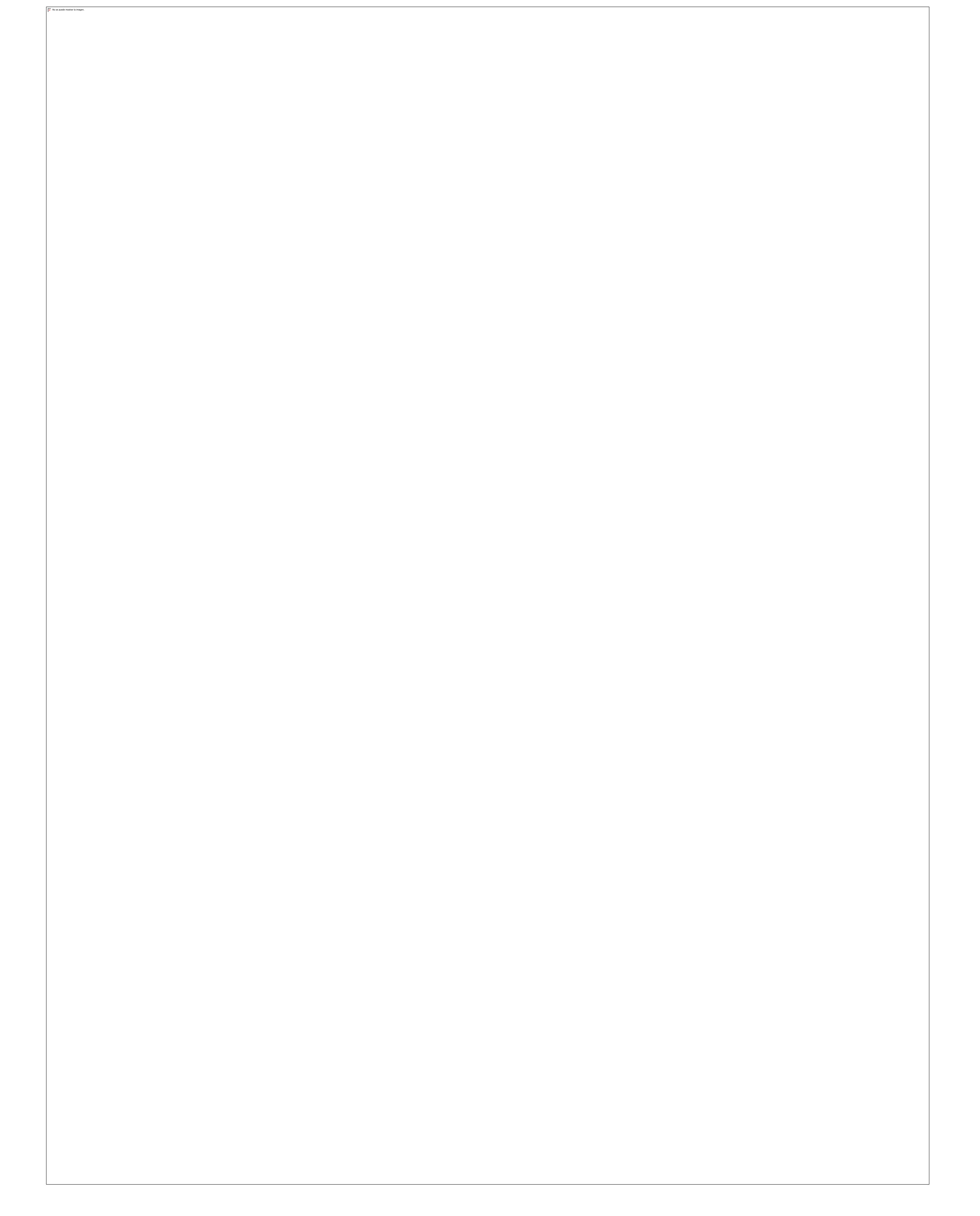

No se puede mostrar la imagen.

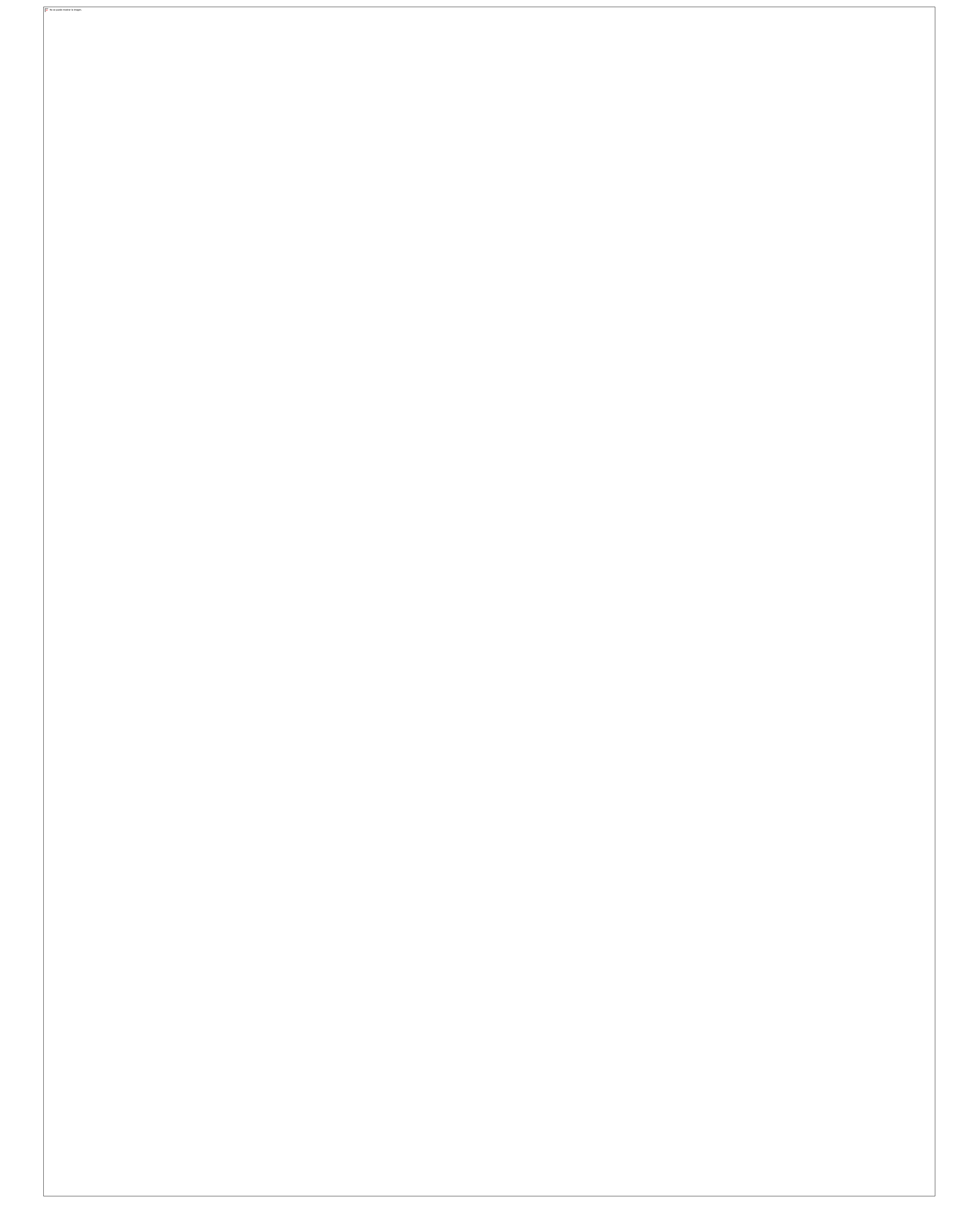

No se puede mostrar la imagen.

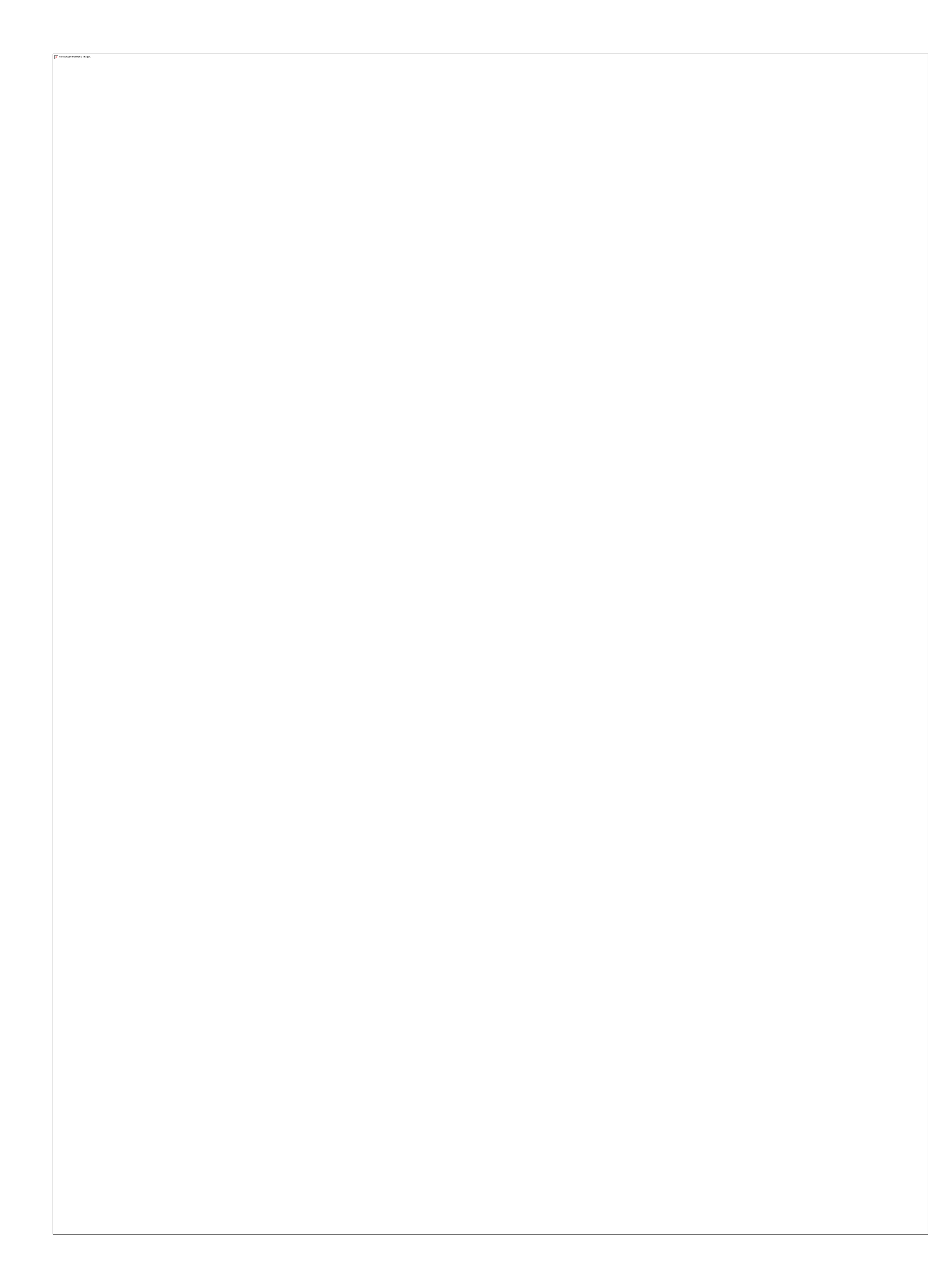

No se puede mostrar la imagen.

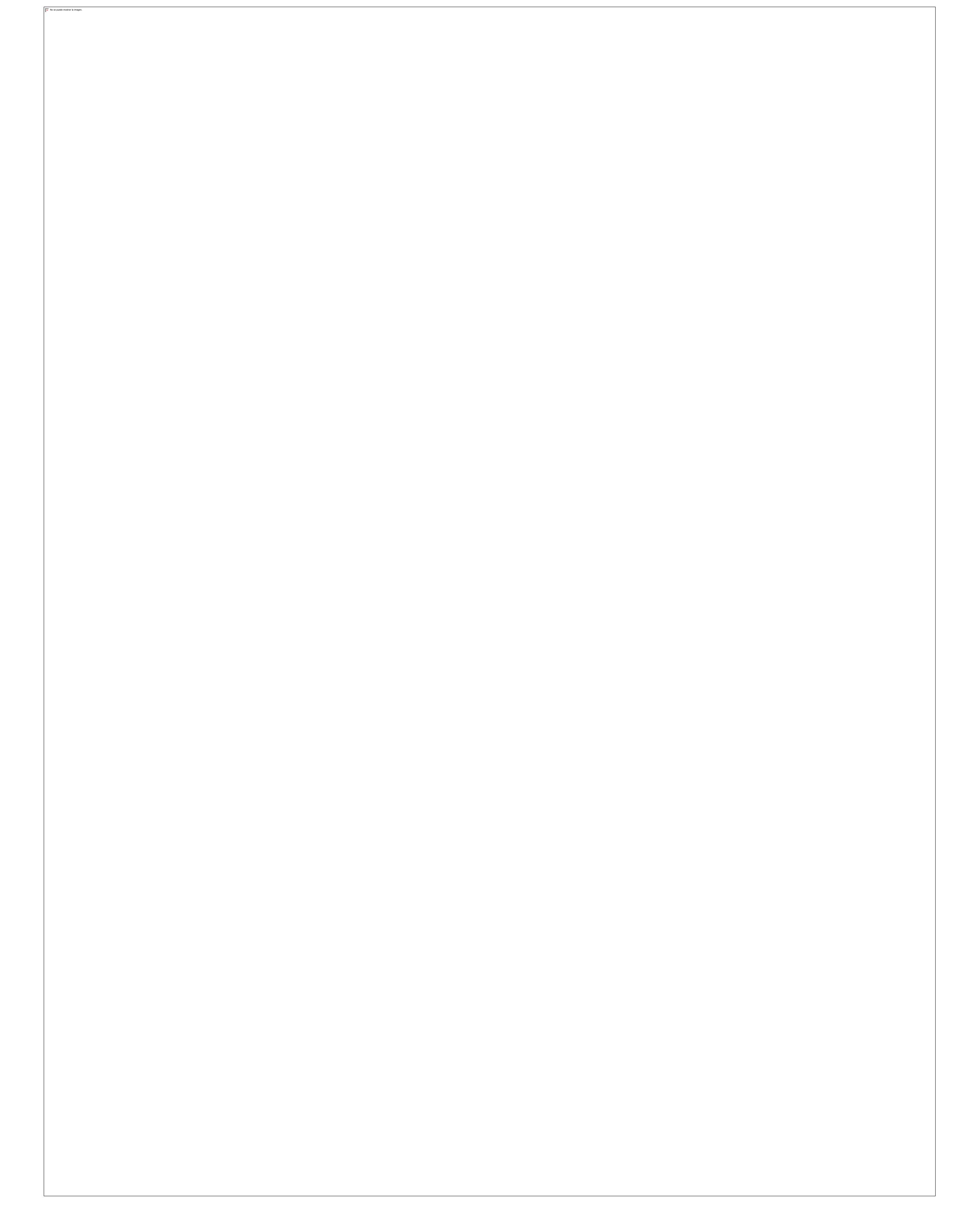

No se puede mostrar la imagen.

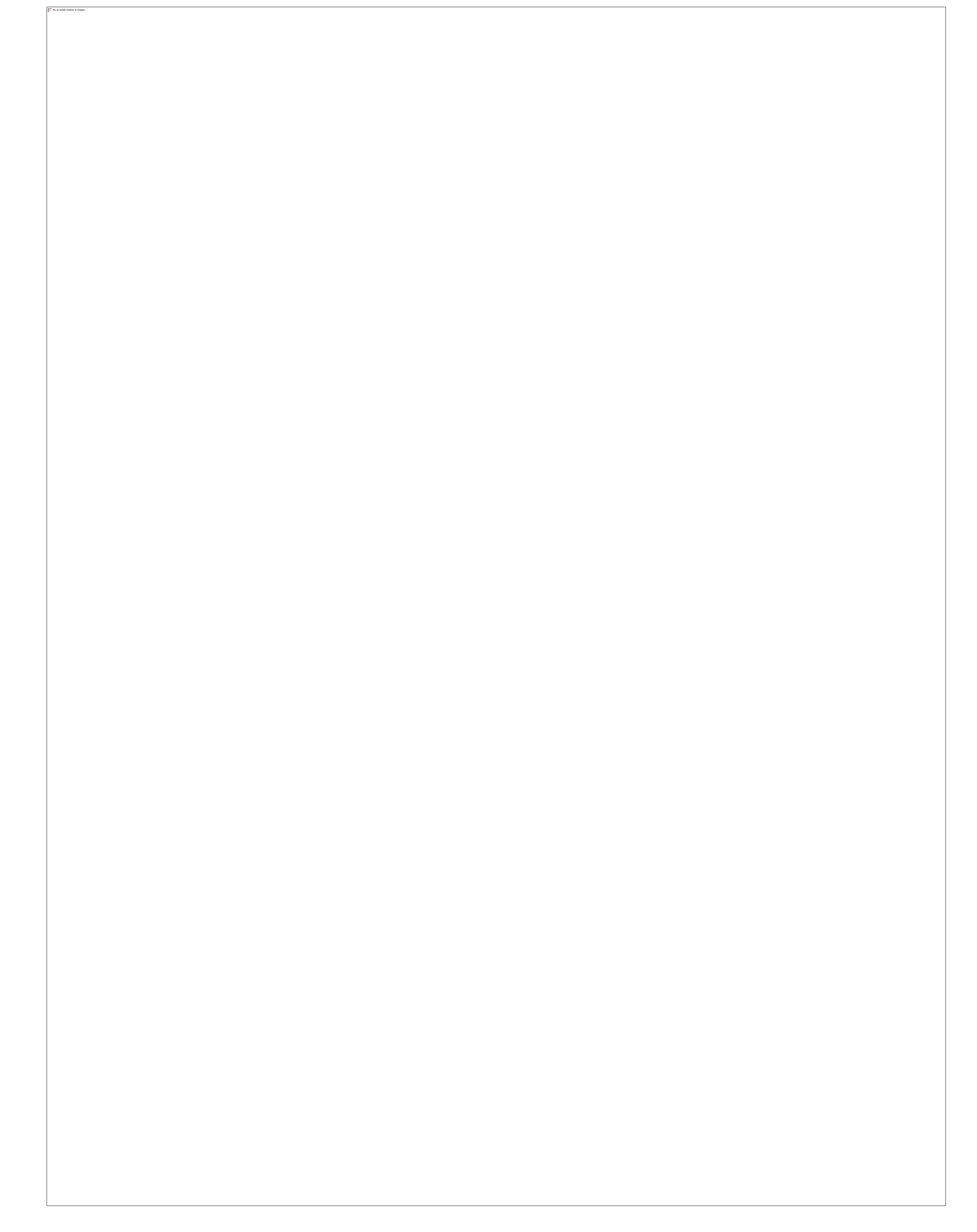

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

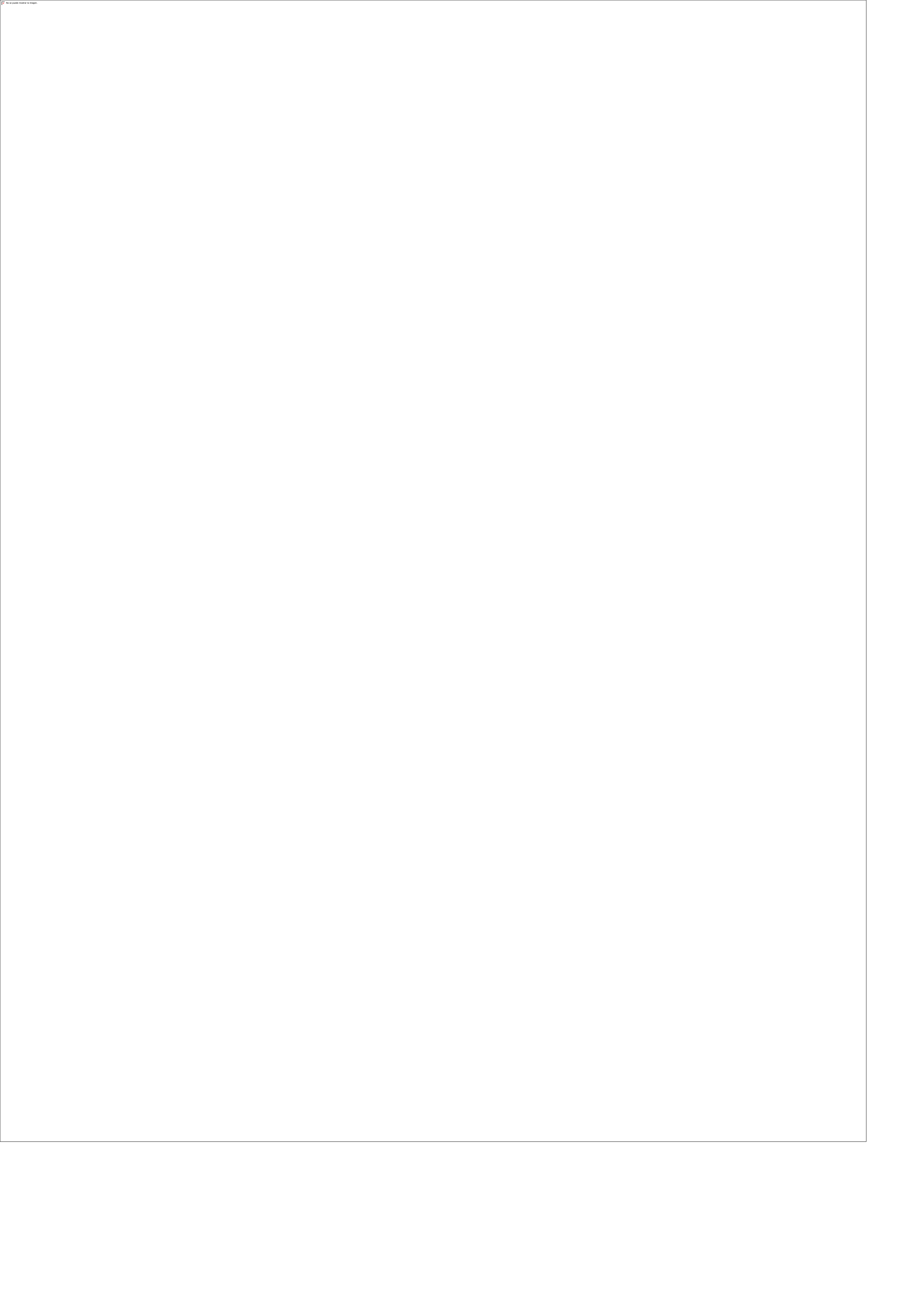

No se puede mostrar la imagen.

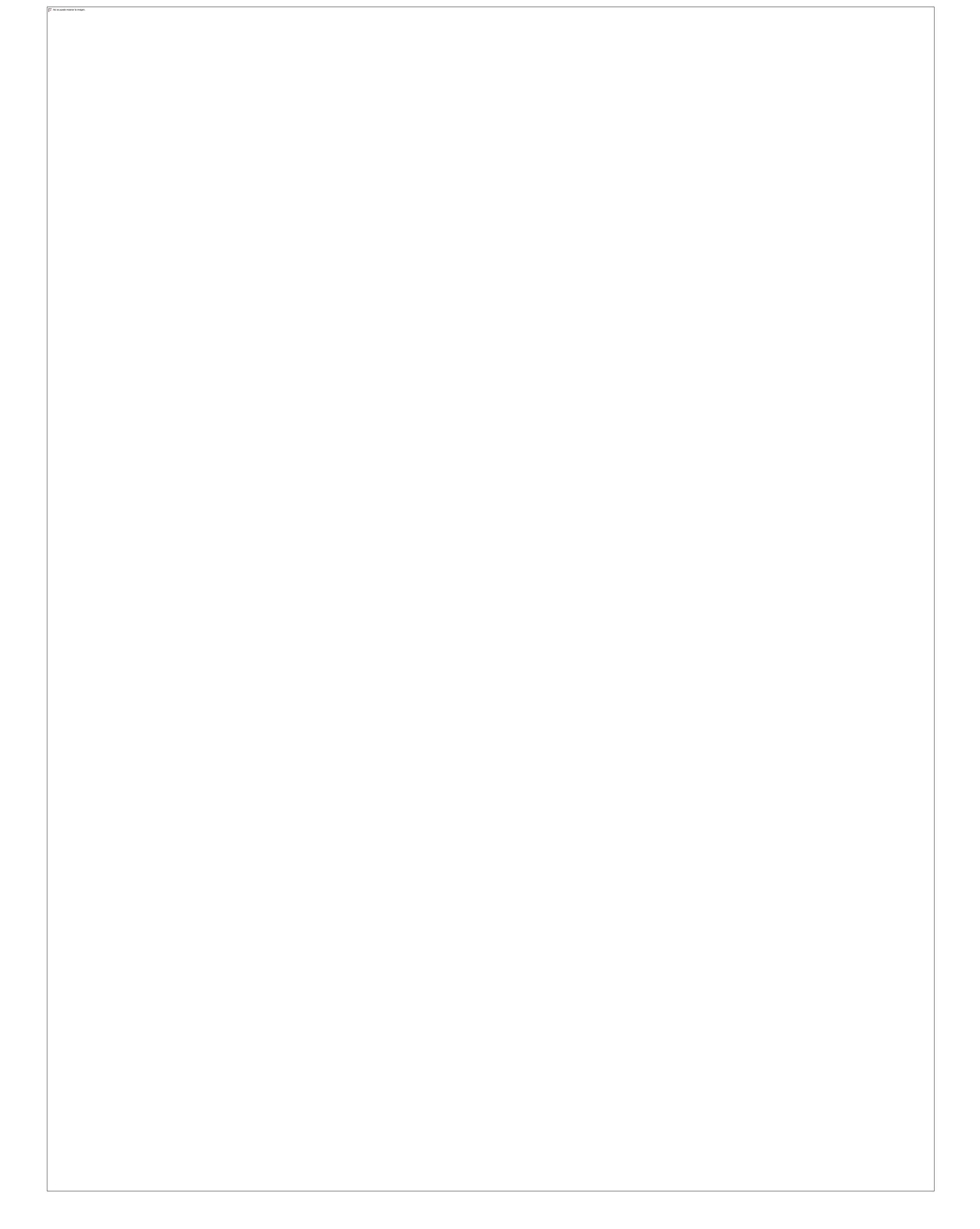

No se puede mostrar la imagen.

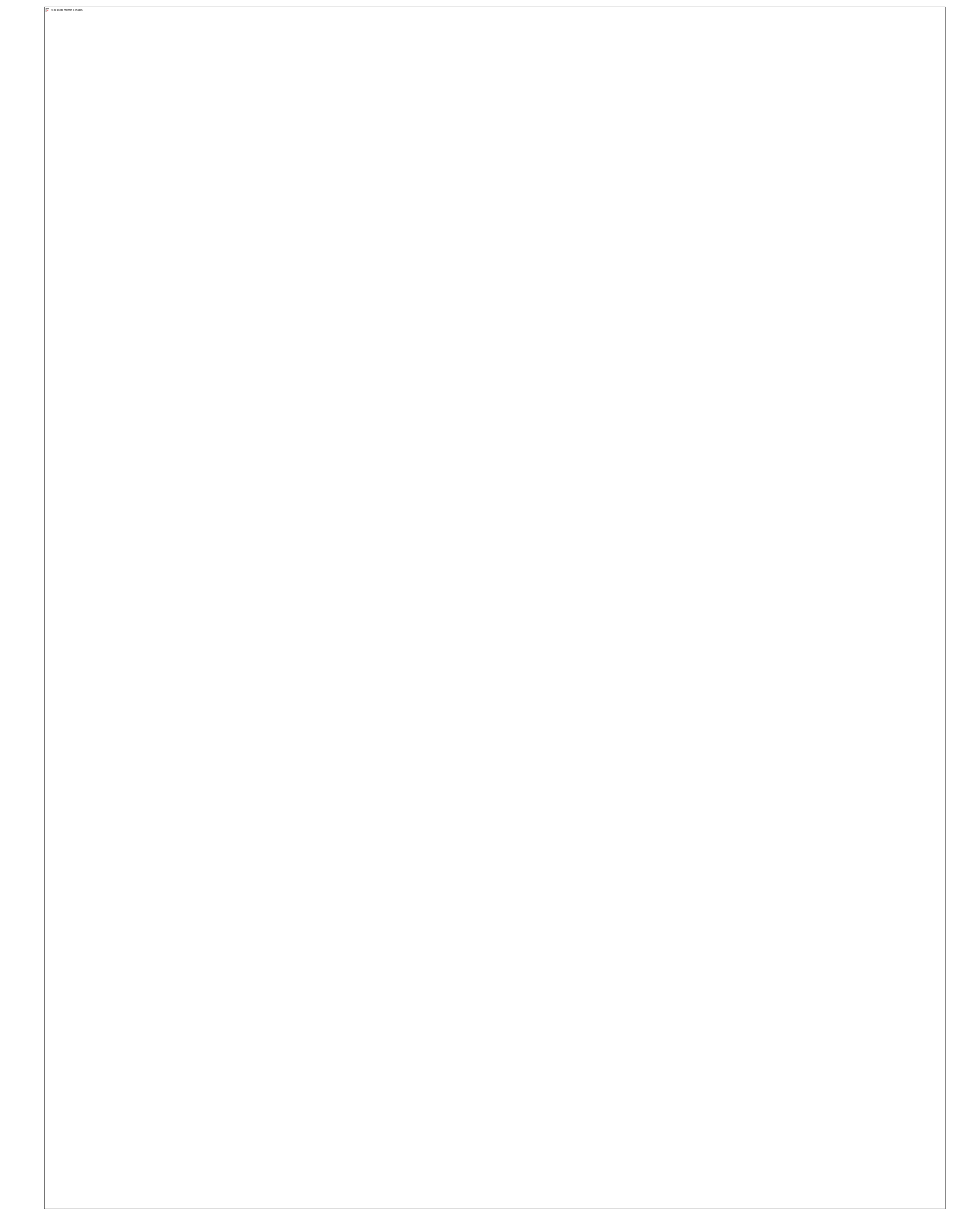

No se puede mostrar la imagen.

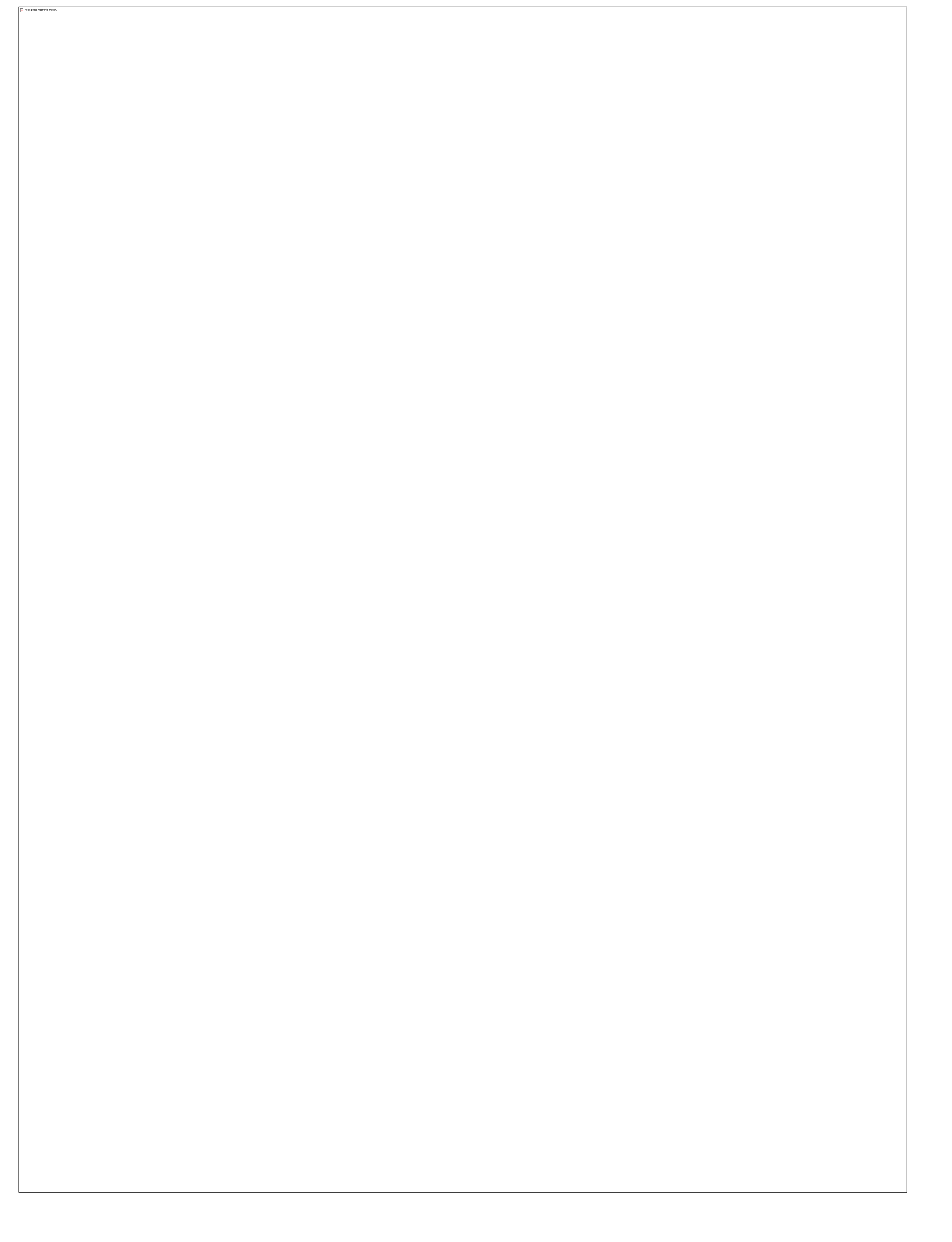

No se puede mostrar la imagen.

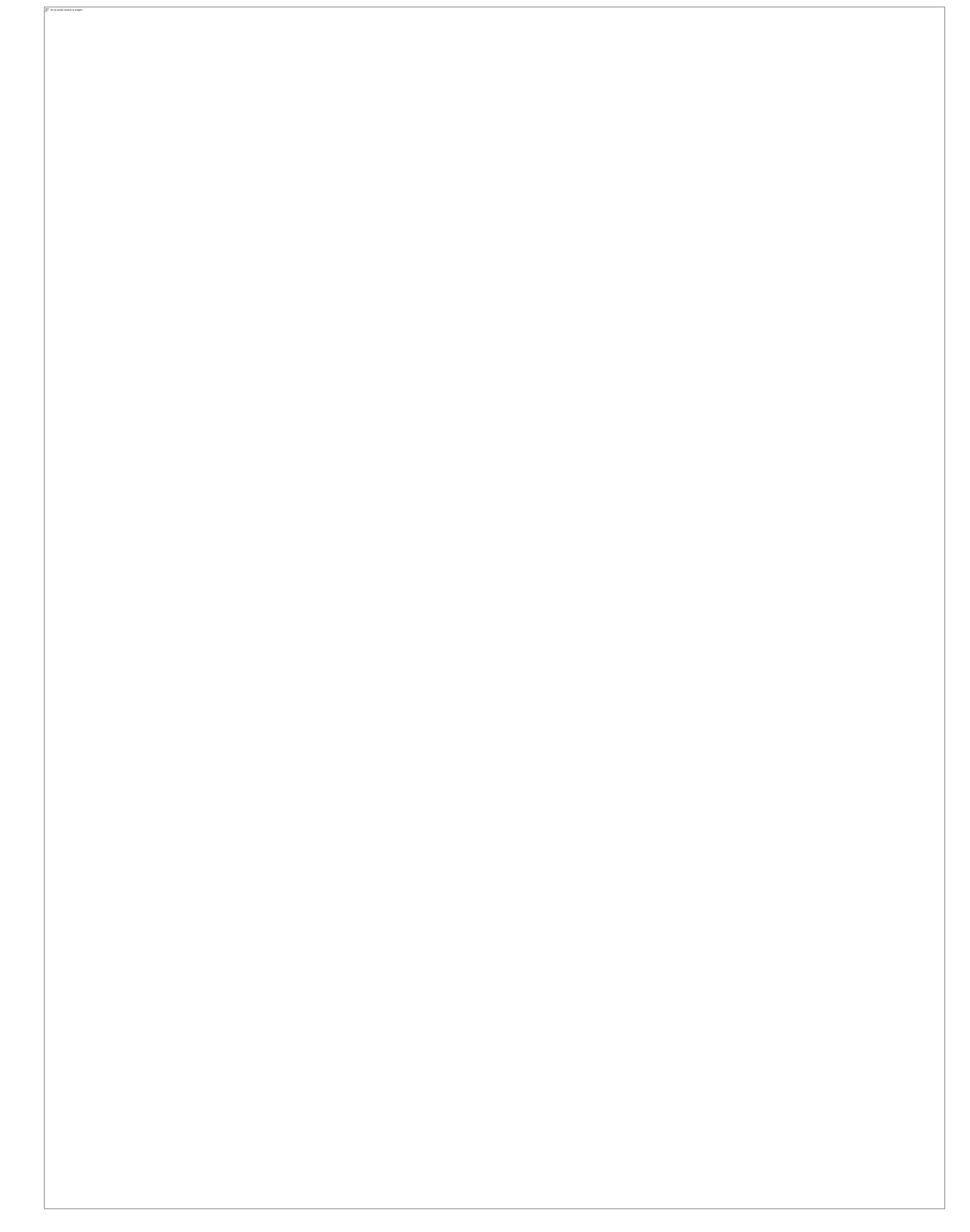
No se puede mostrar la imagen.

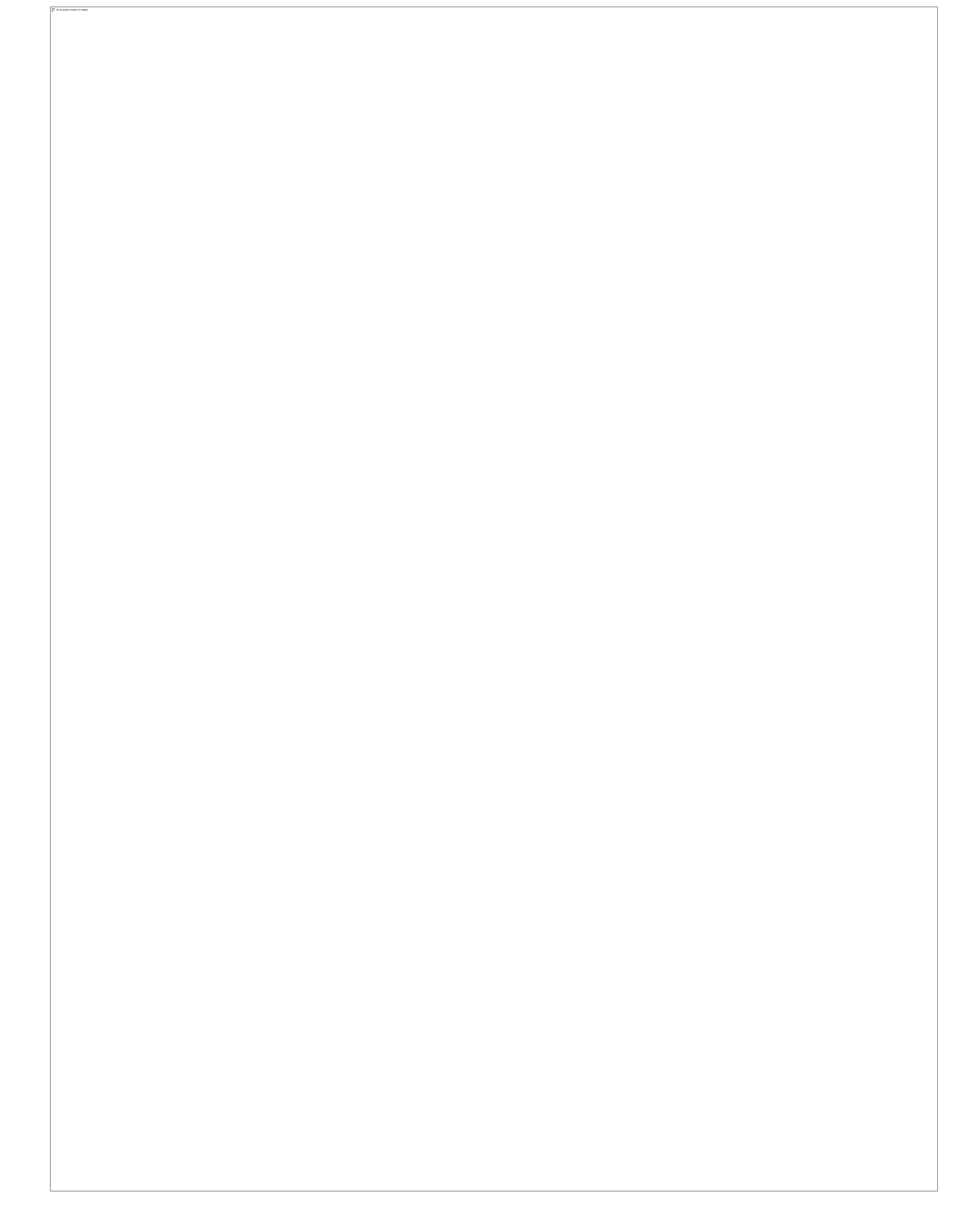

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

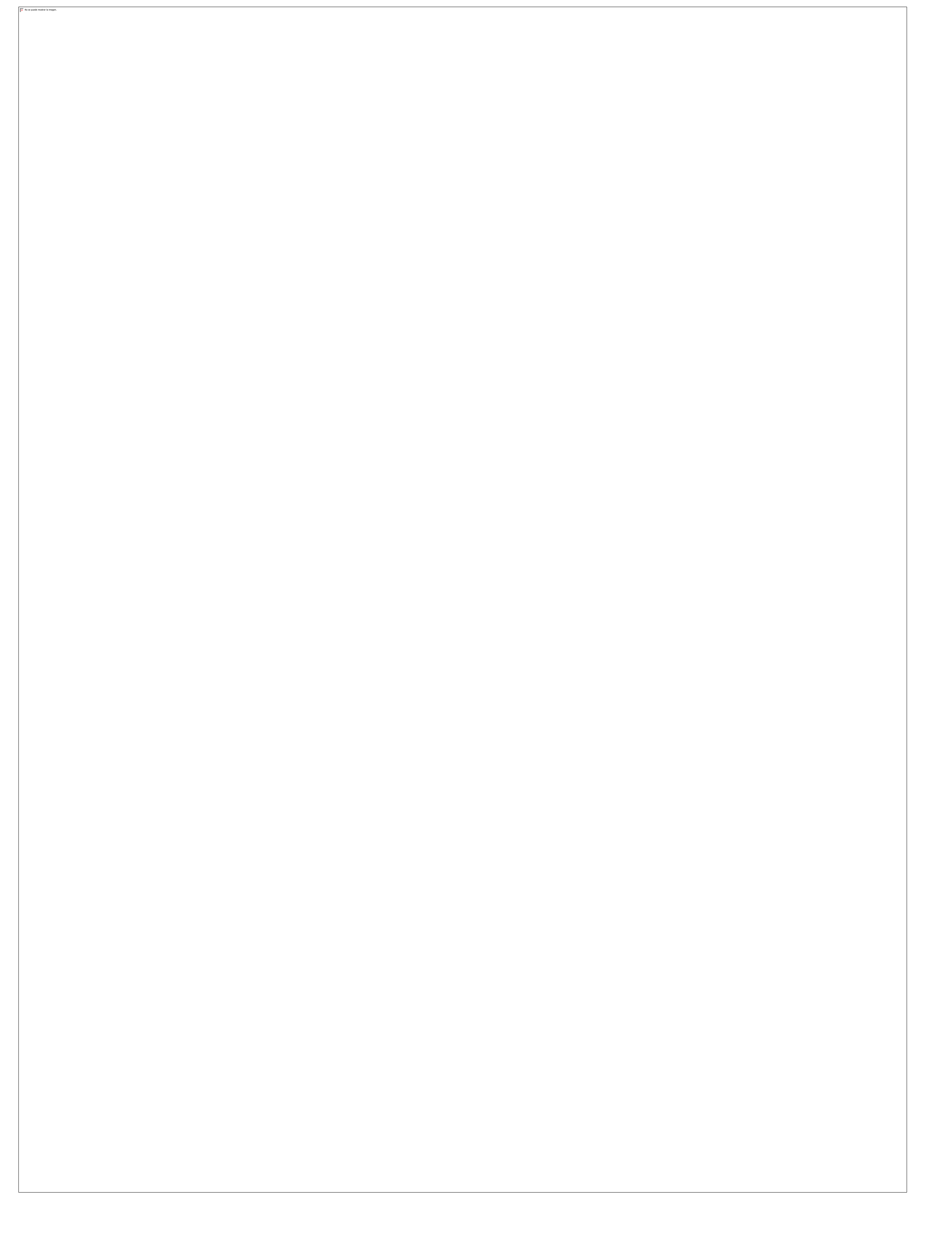

No se puede mostrar la imagen.

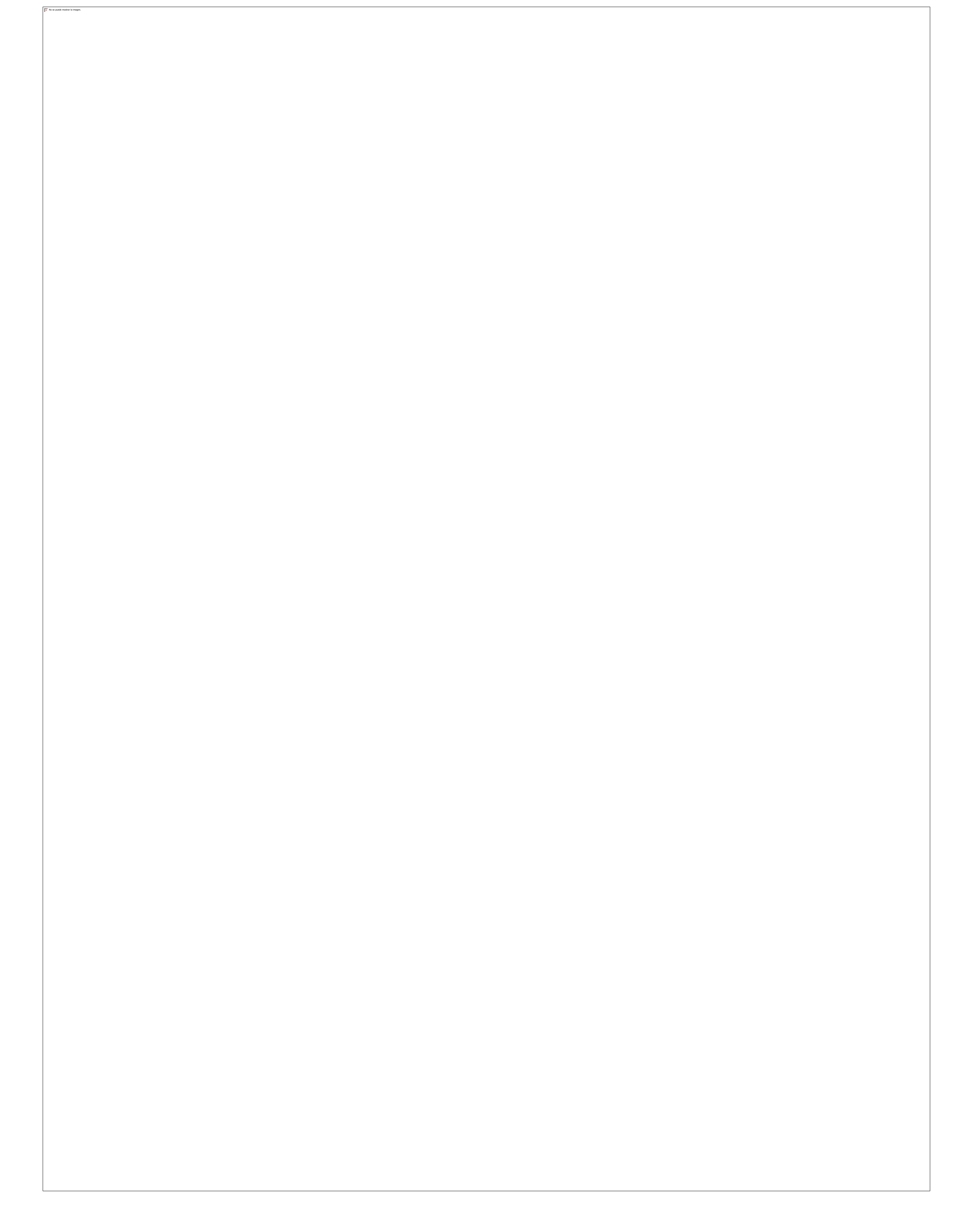

No se puede mostrar la imagen.

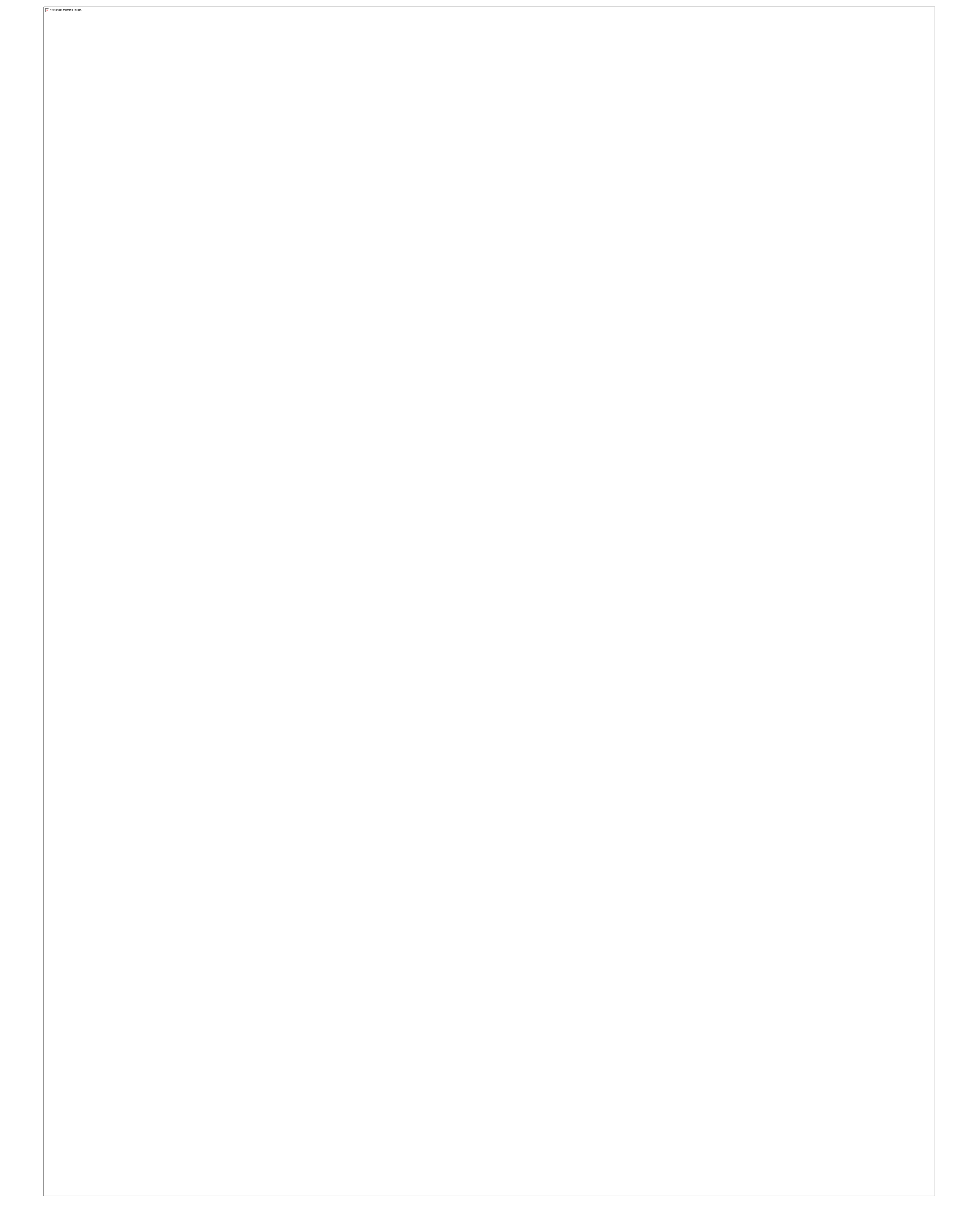

No se puede mostrar la imagen.

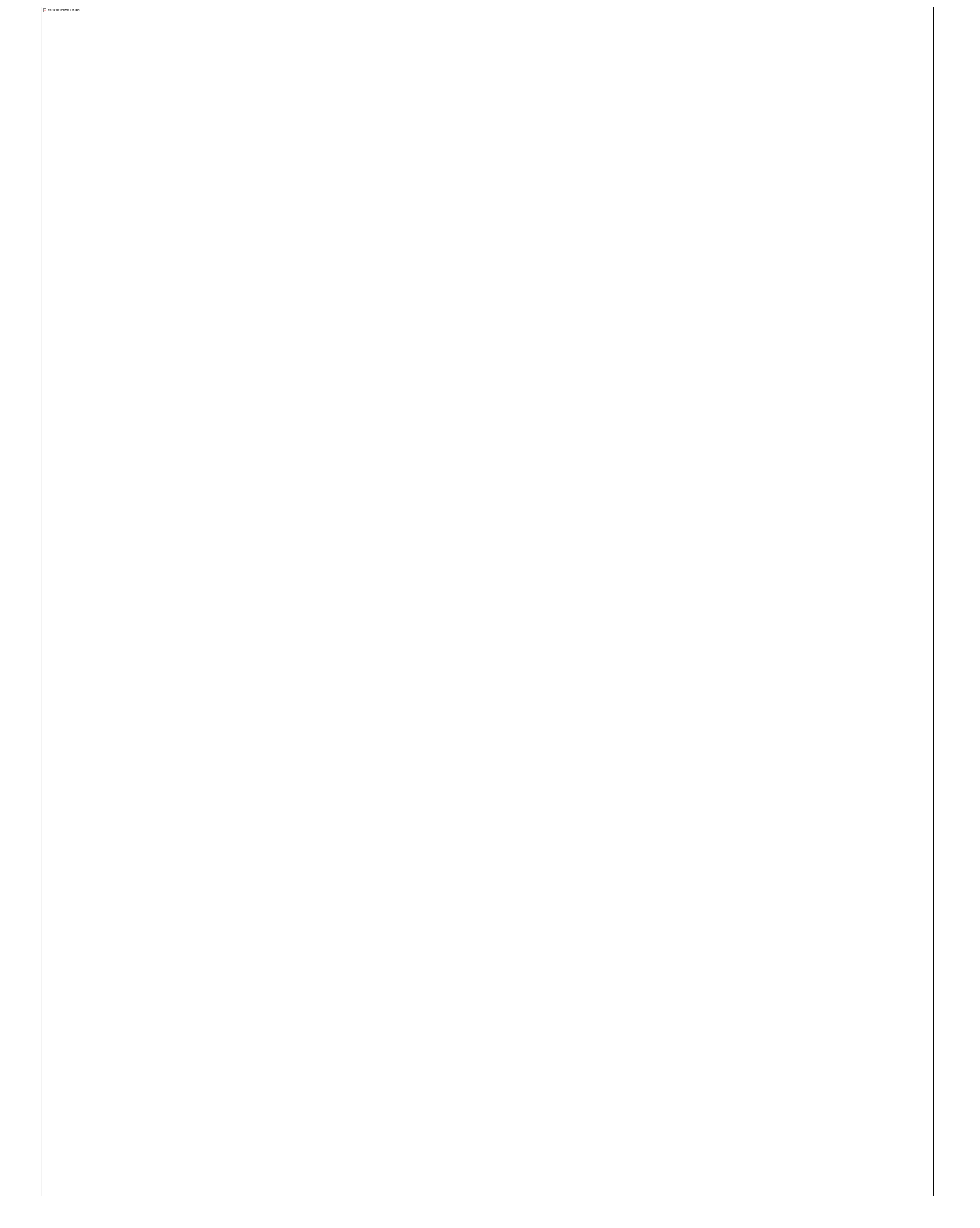

No se puede mostrar la imagen.

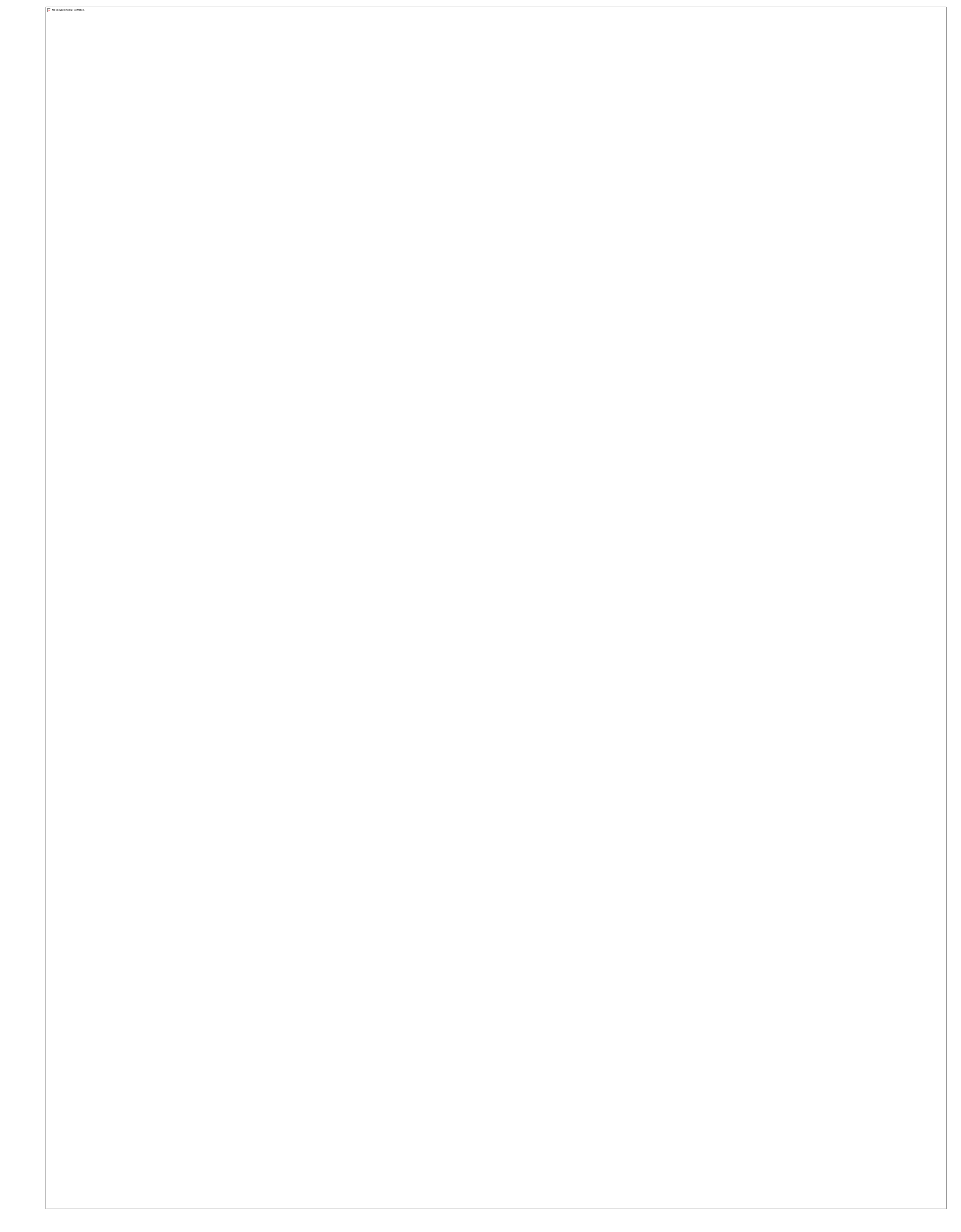
No se puede mostrar la imagen.

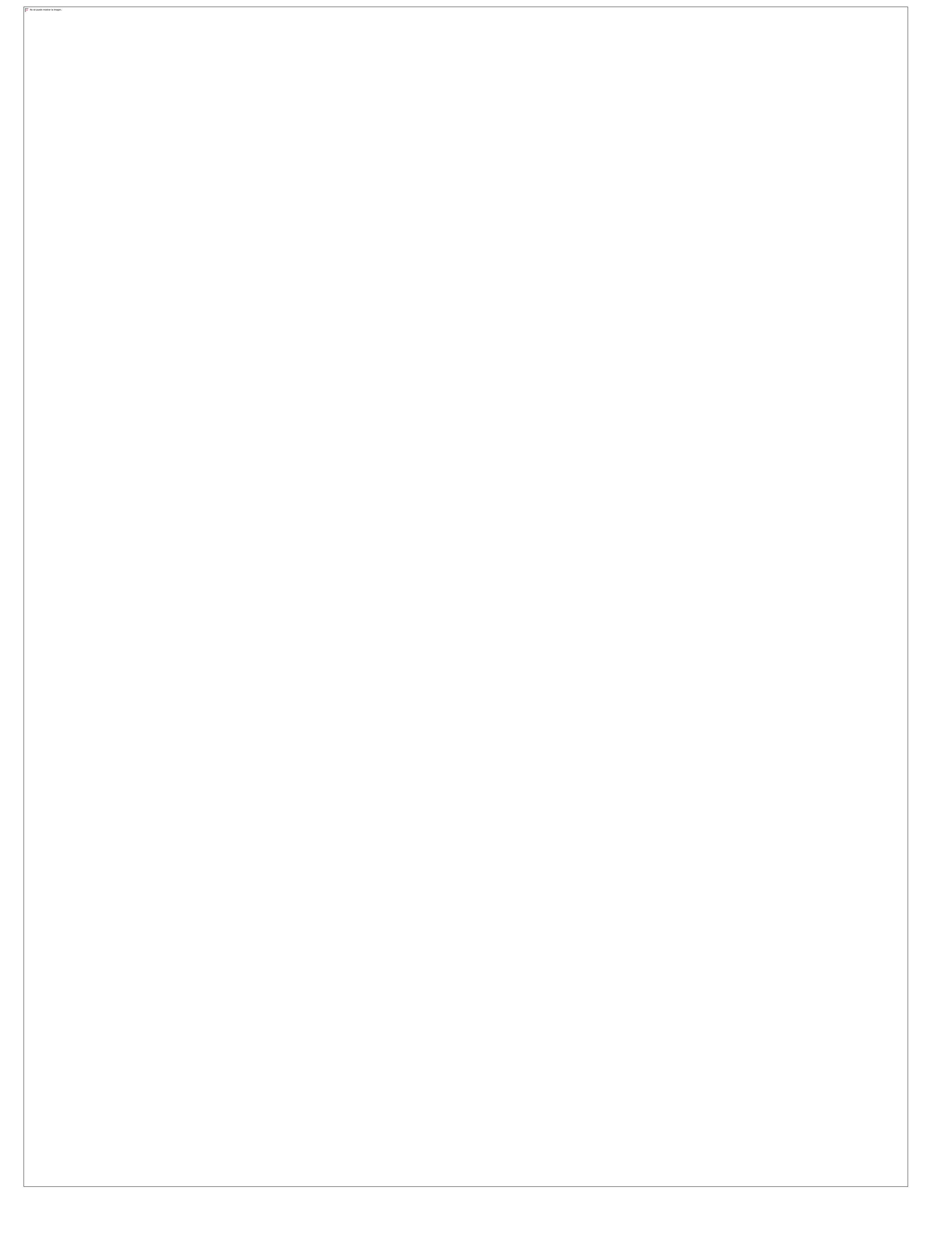

No se puede mostrar la imagen.

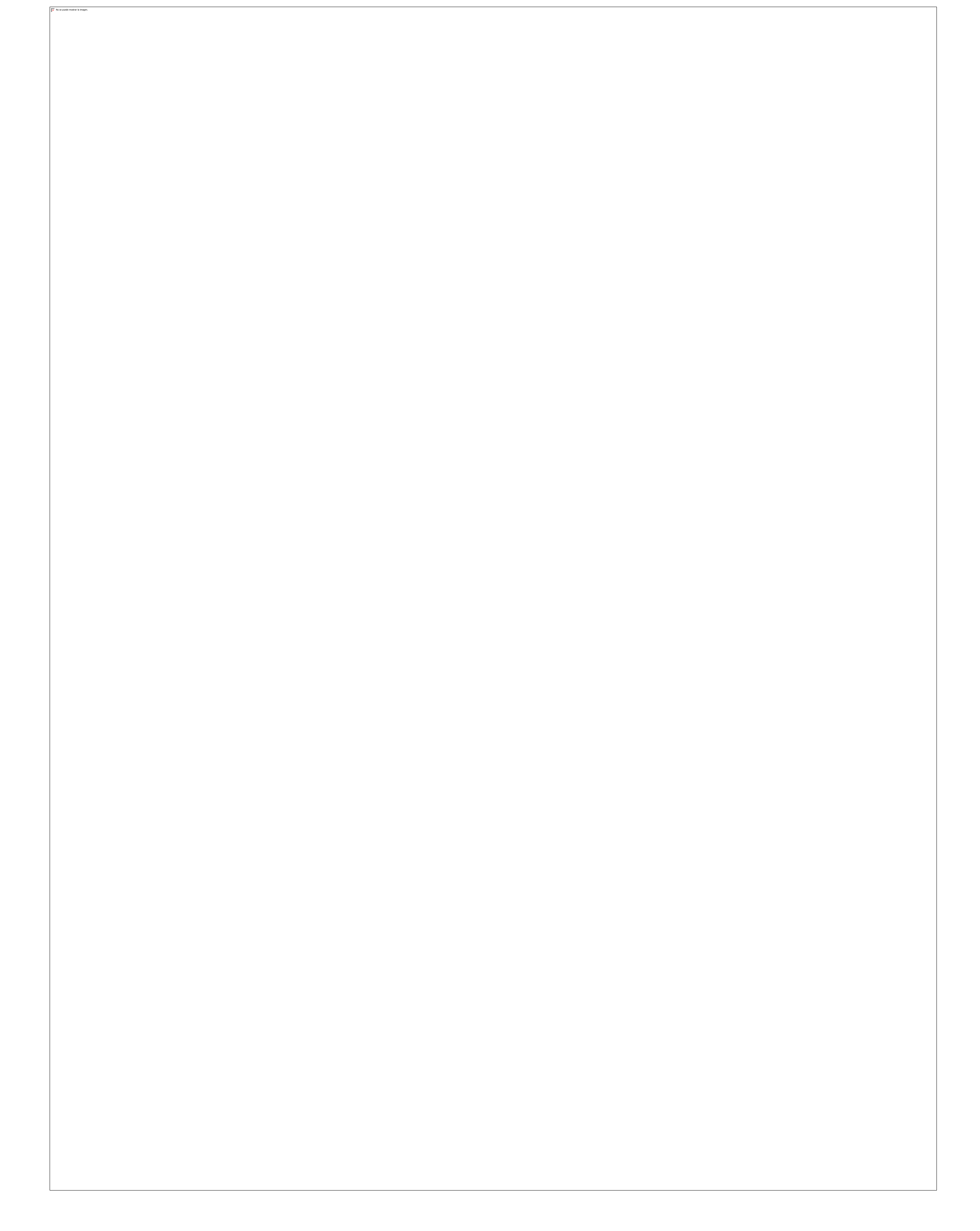

No se puede mostrar la imagen.

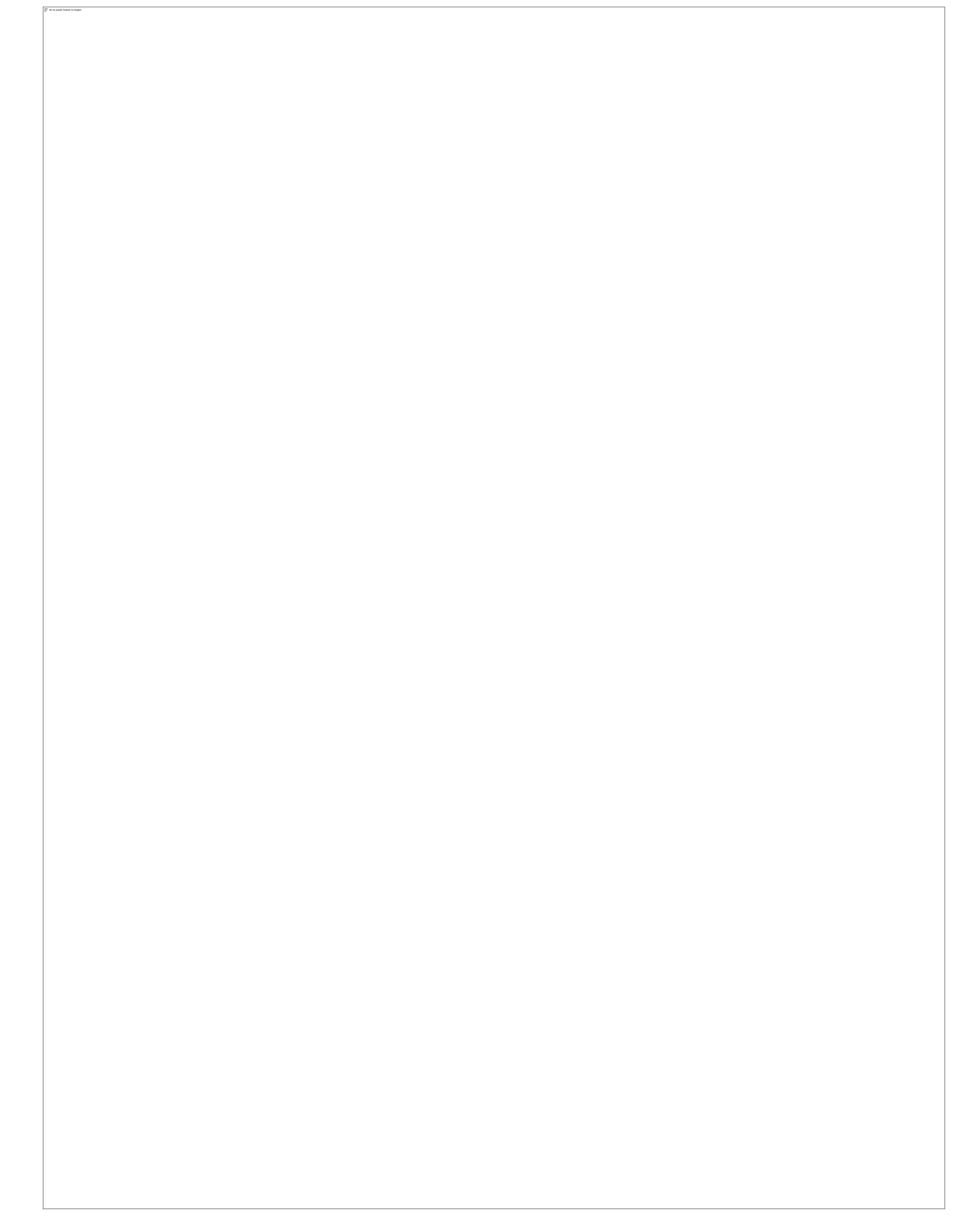

No se puede mostrar la imagen.

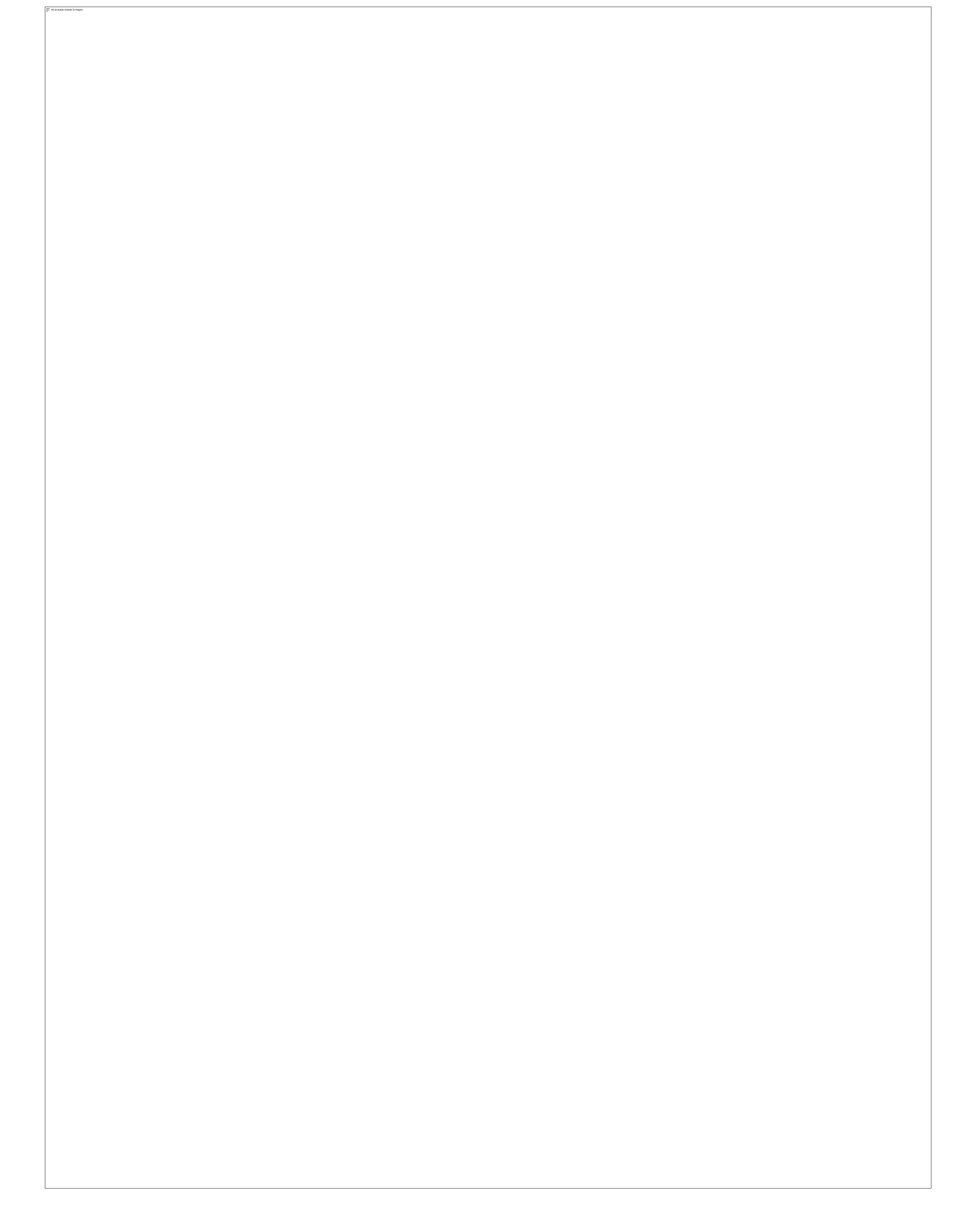

No se puede mostrar la imagen.

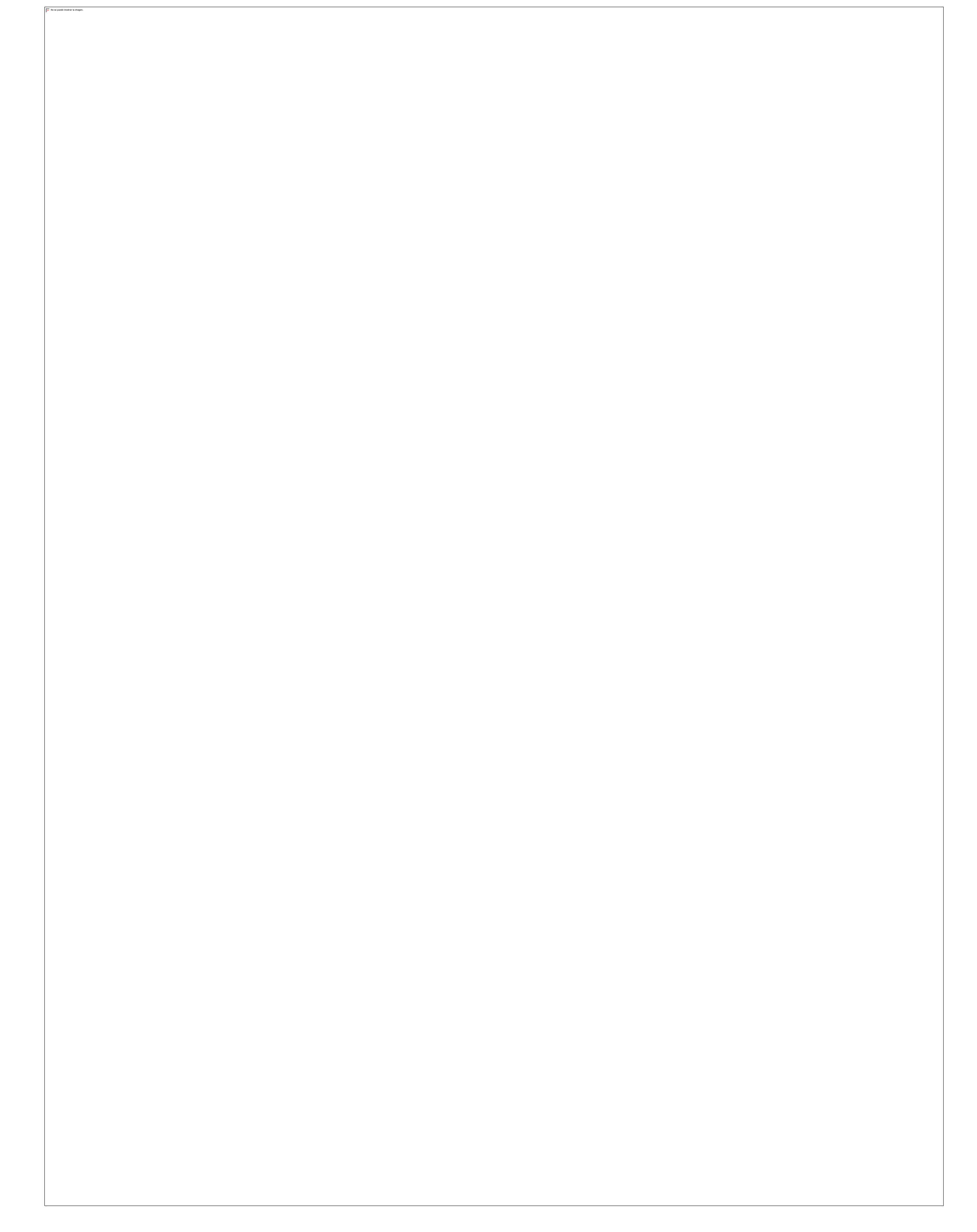

No se puede mostrar la imagen.

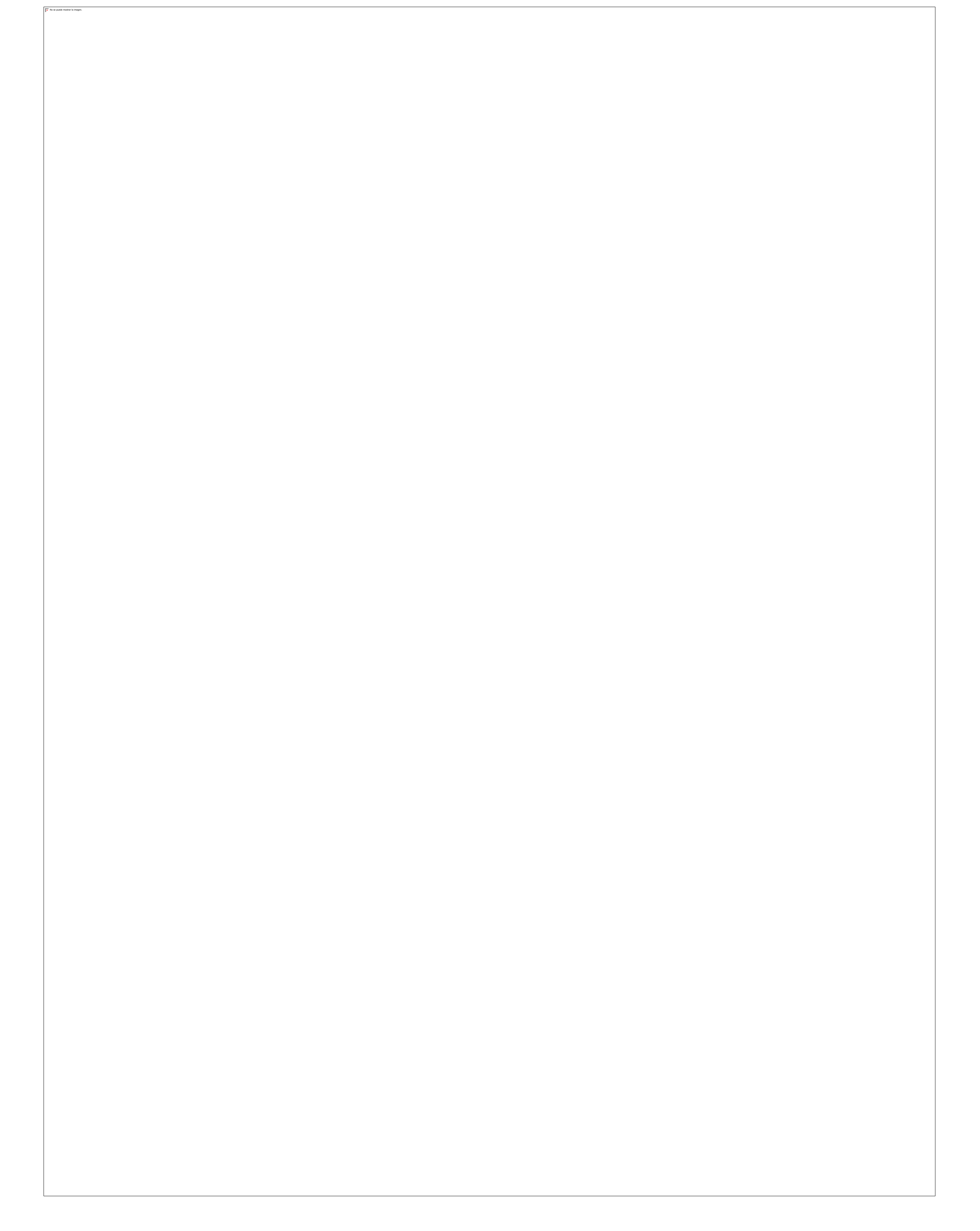

No se puede mostrar la imagen.

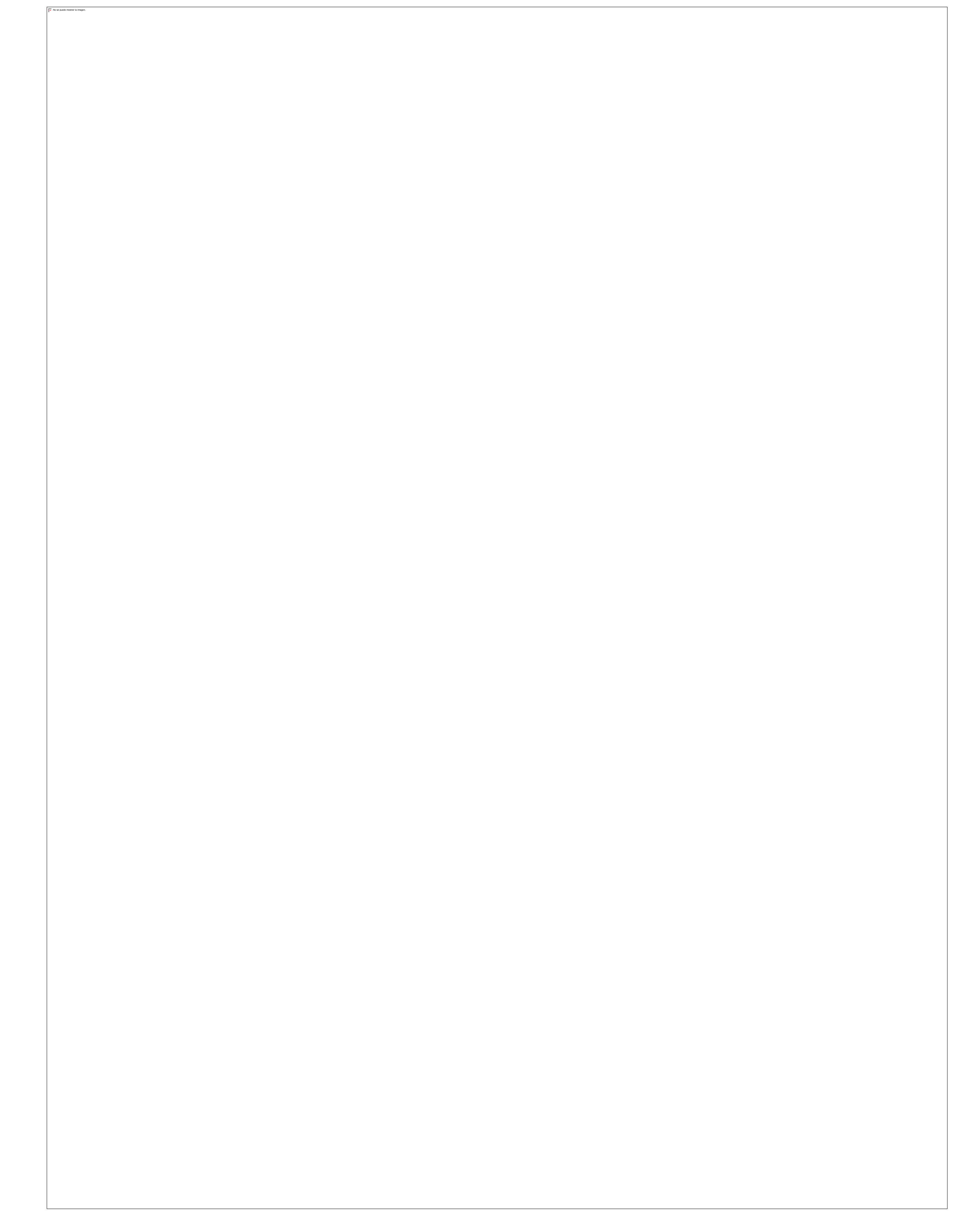

No se puede mostrar la imagen.

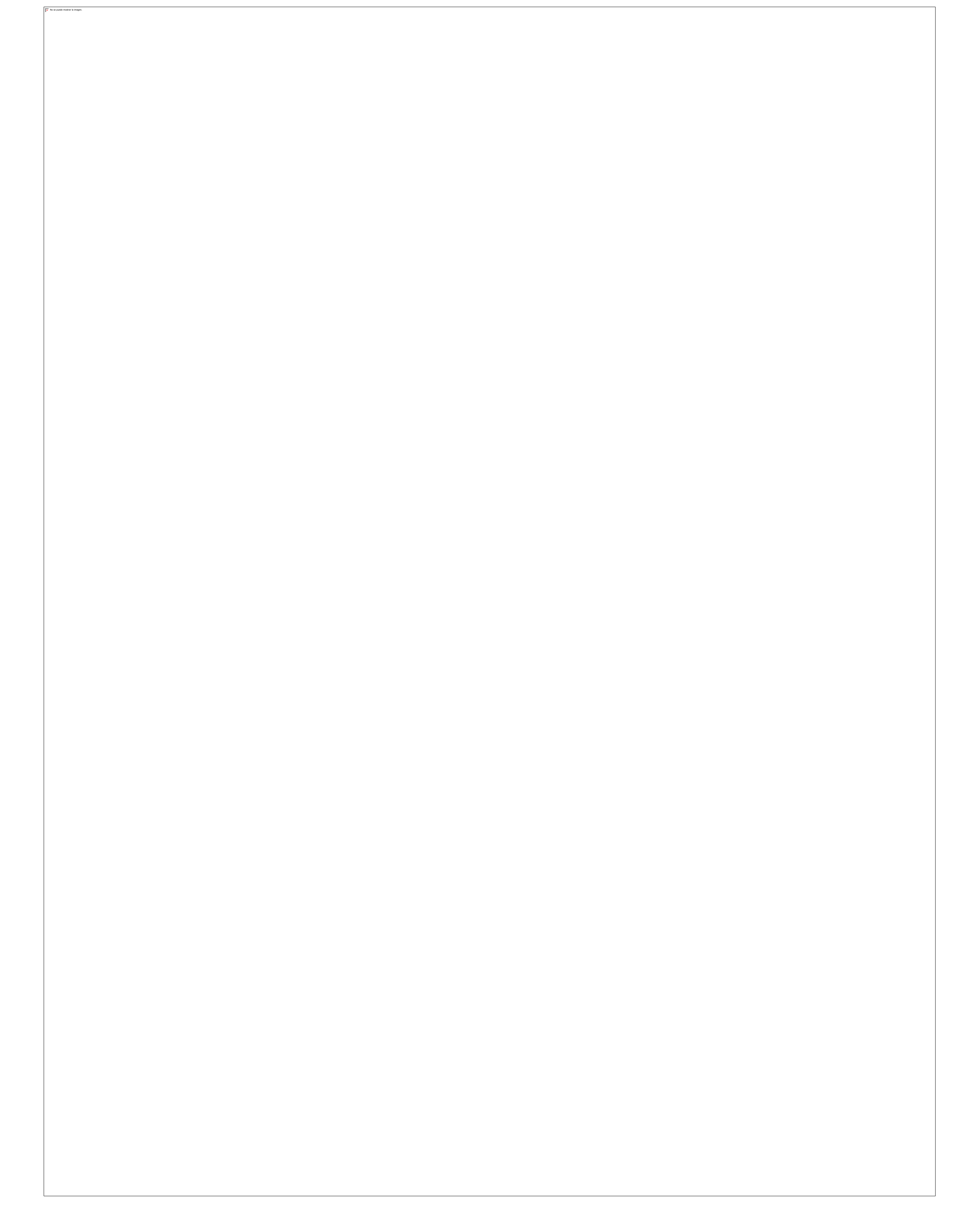

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

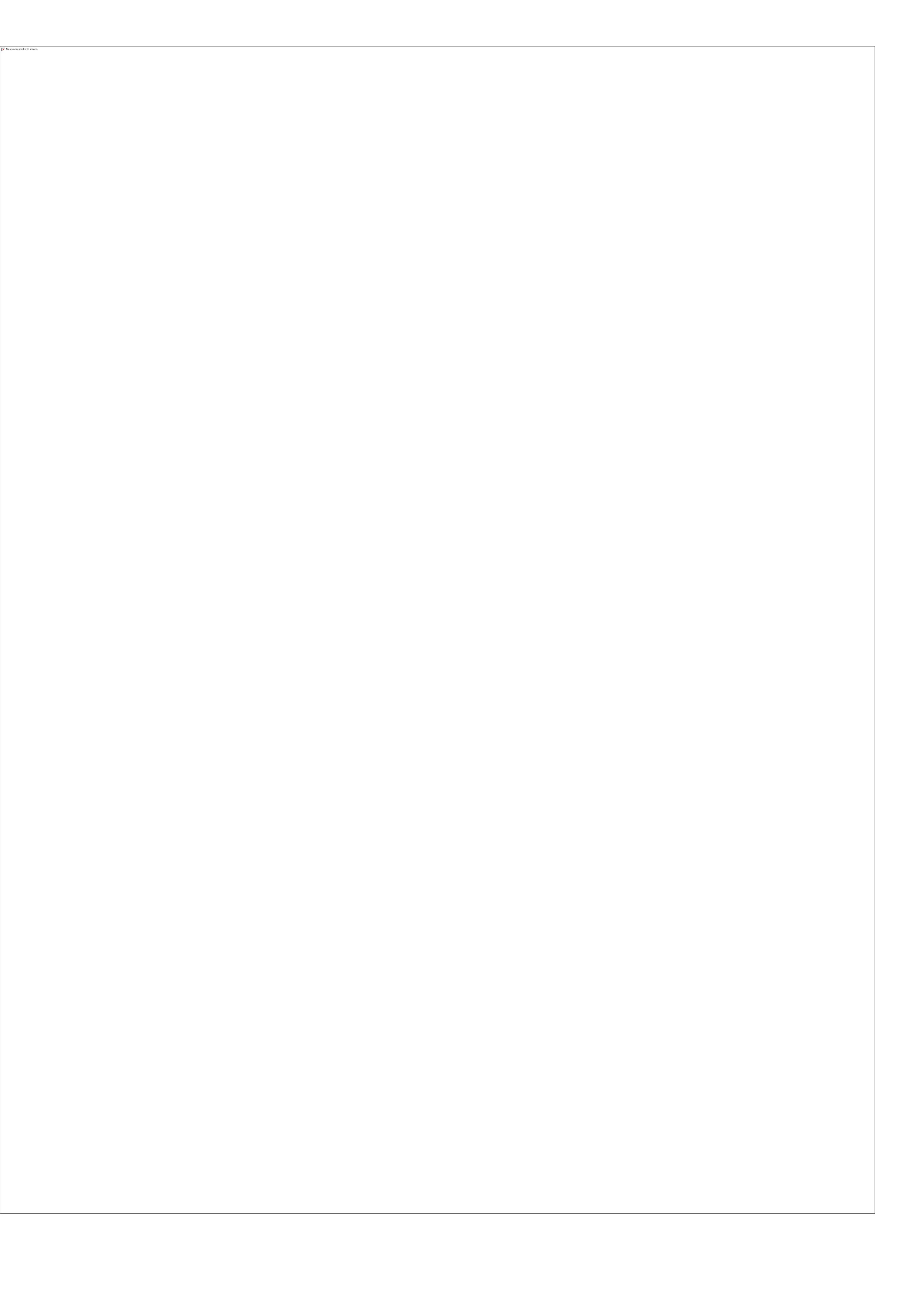

No se puede mostrar la imagen.

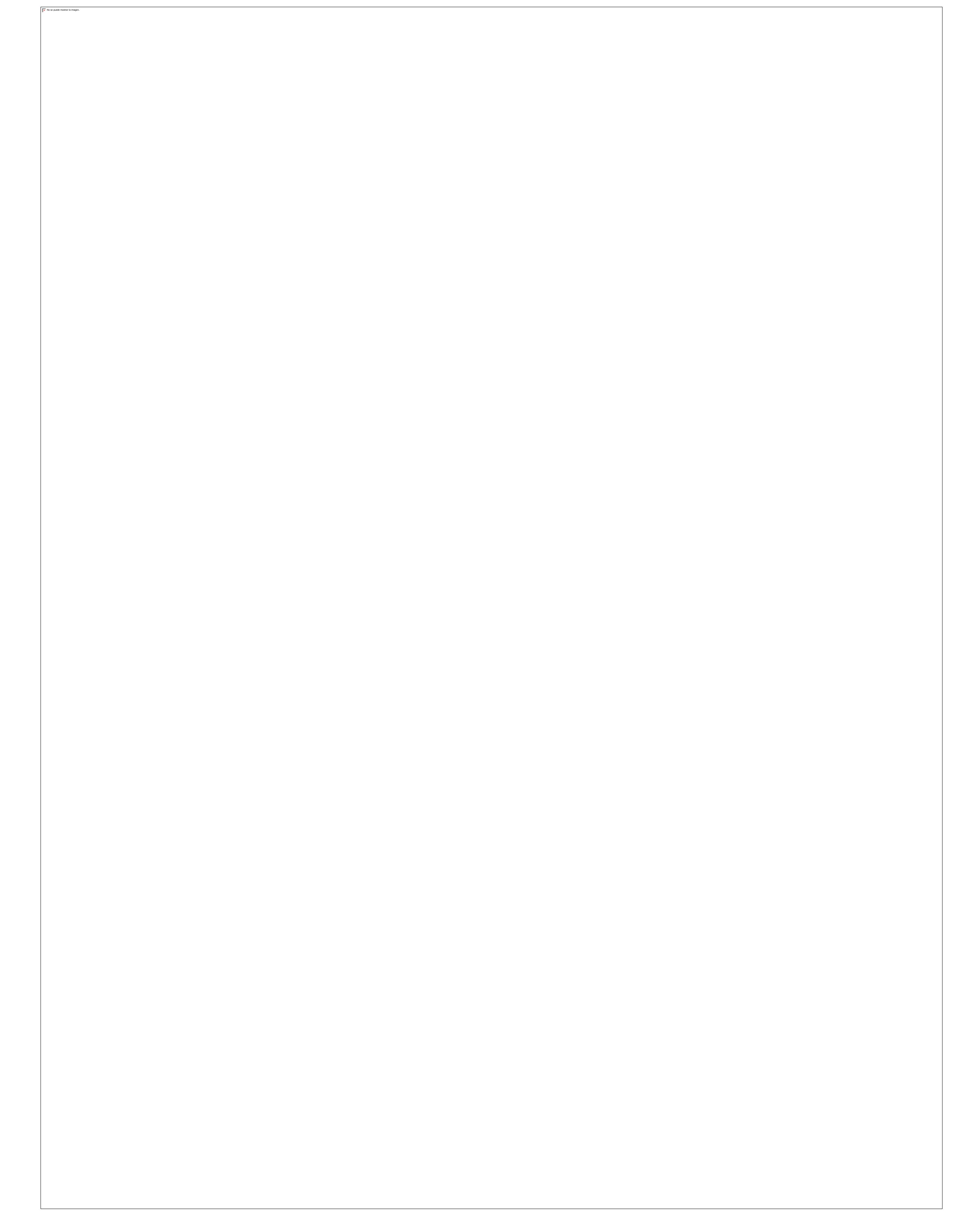

No se puede mostrar la imagen.

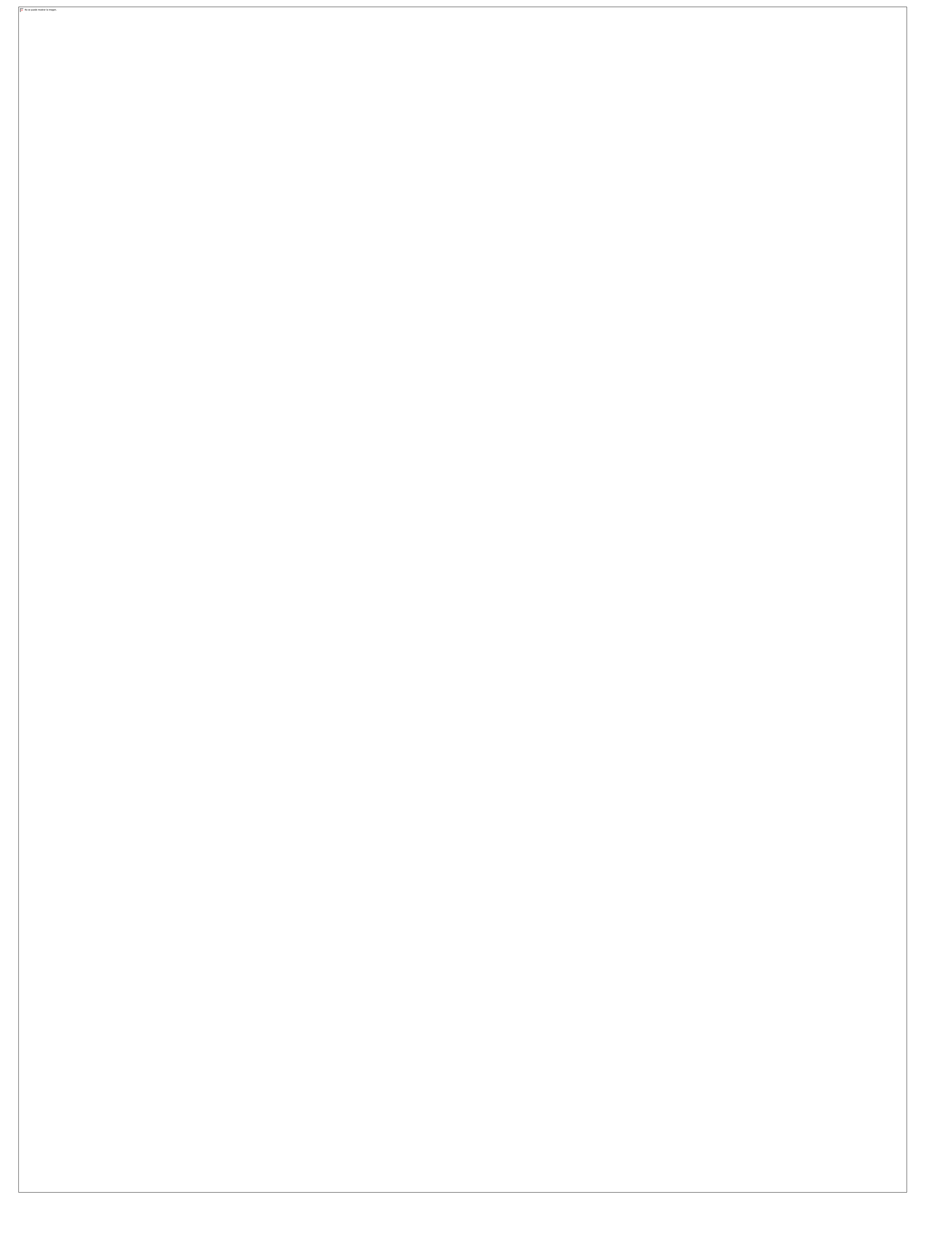

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

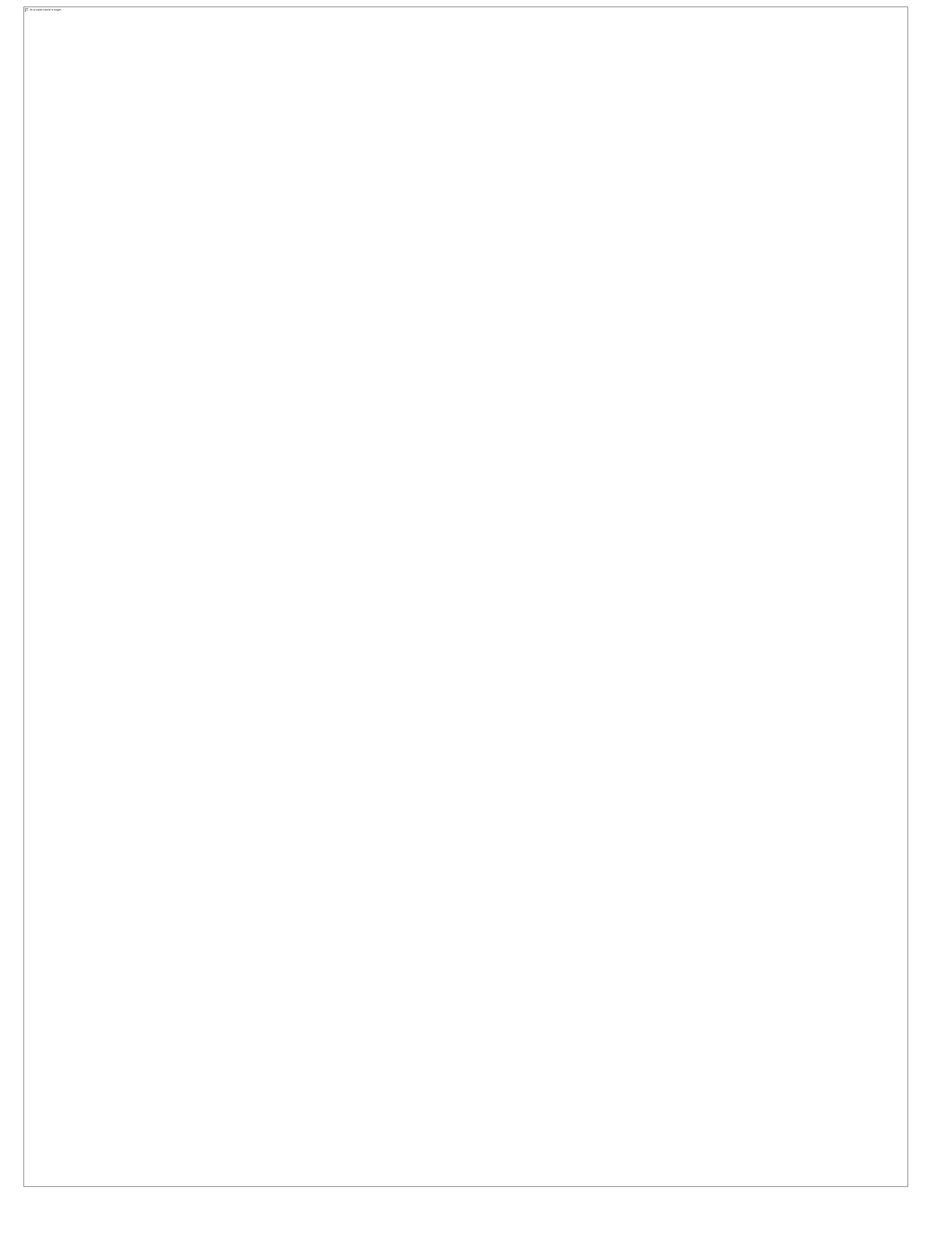
No se puede mostrar la imagen.

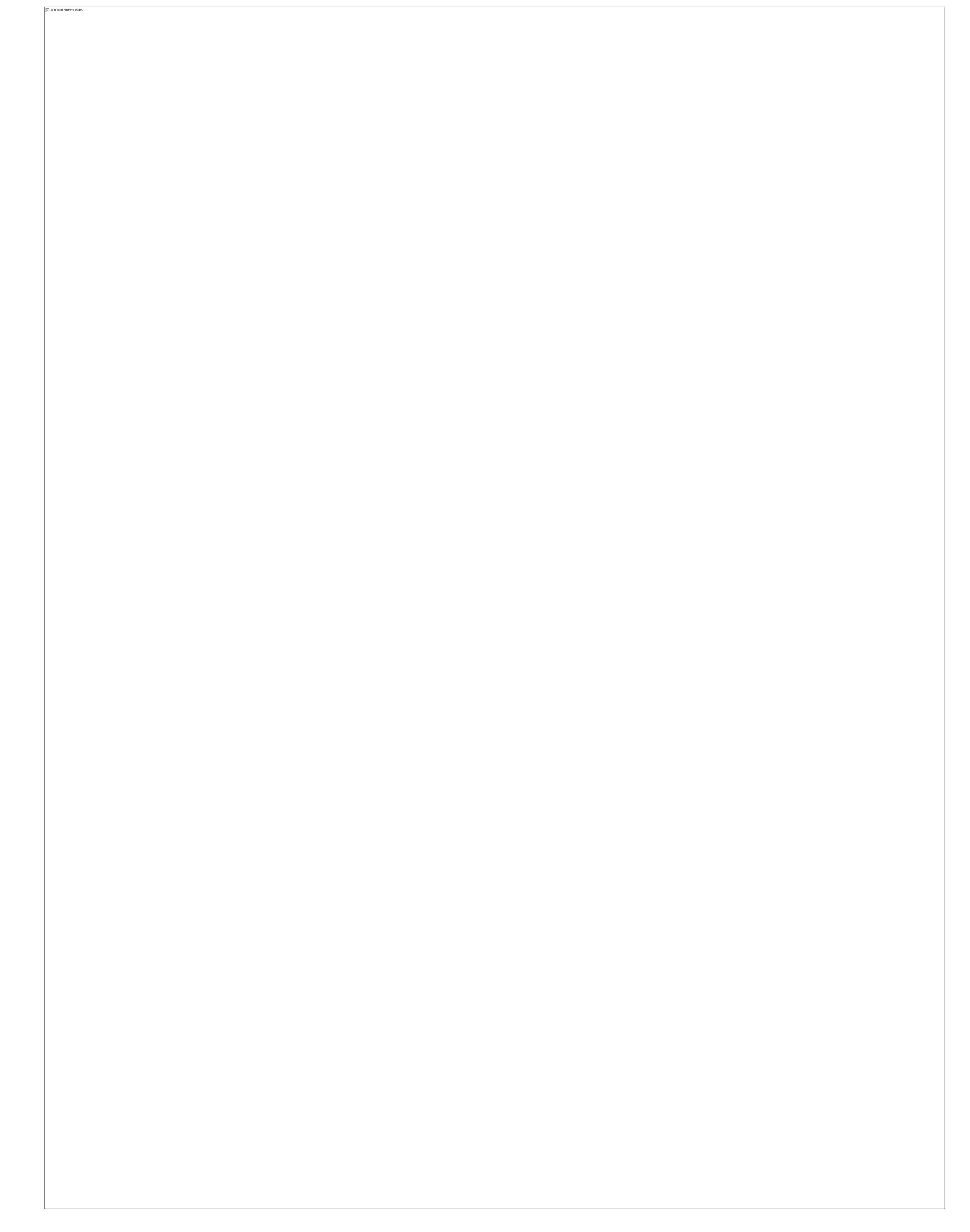

No se puede mostrar la imagen.

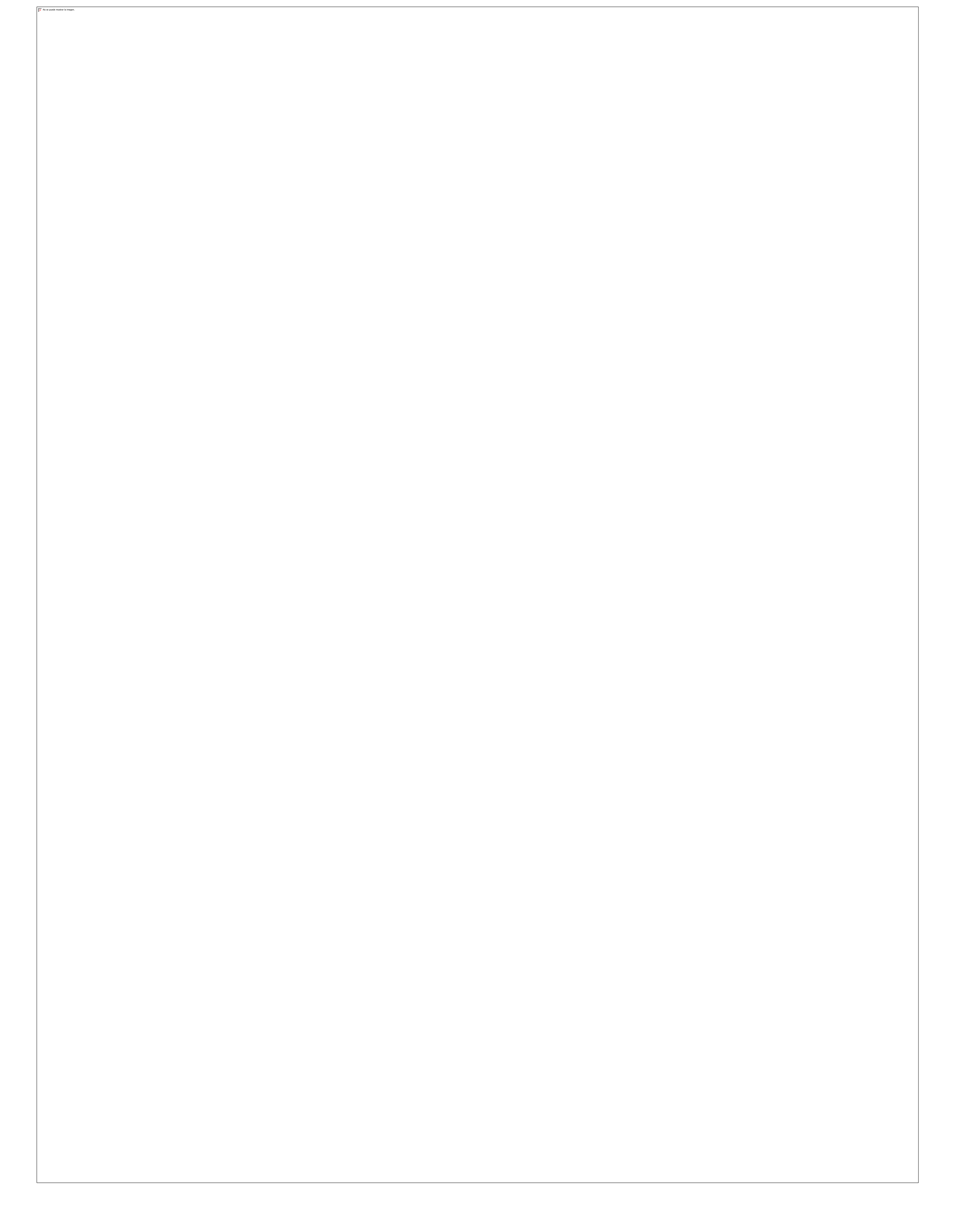

No se puede mostrar la imagen.

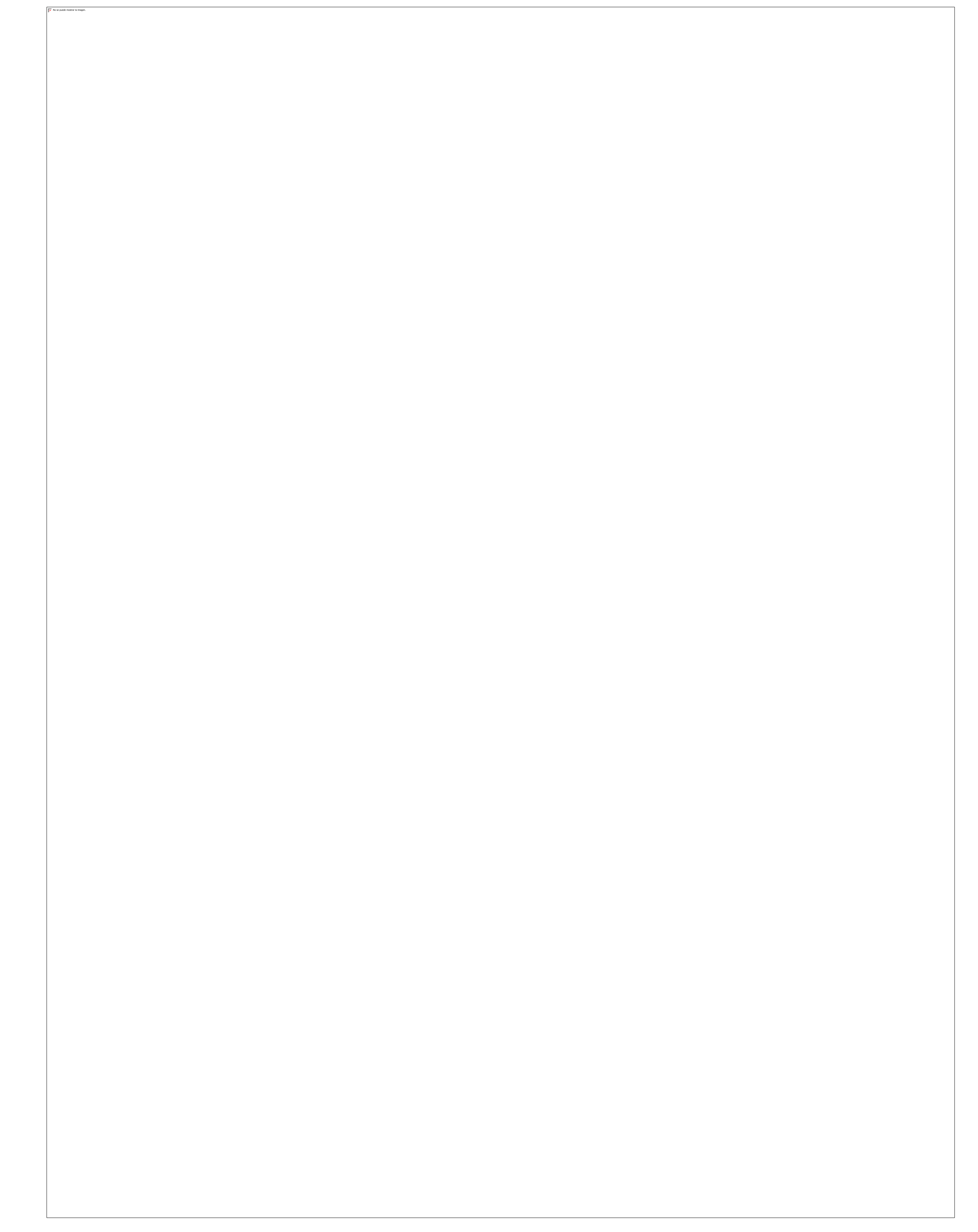

No se puede mostrar la imagen.

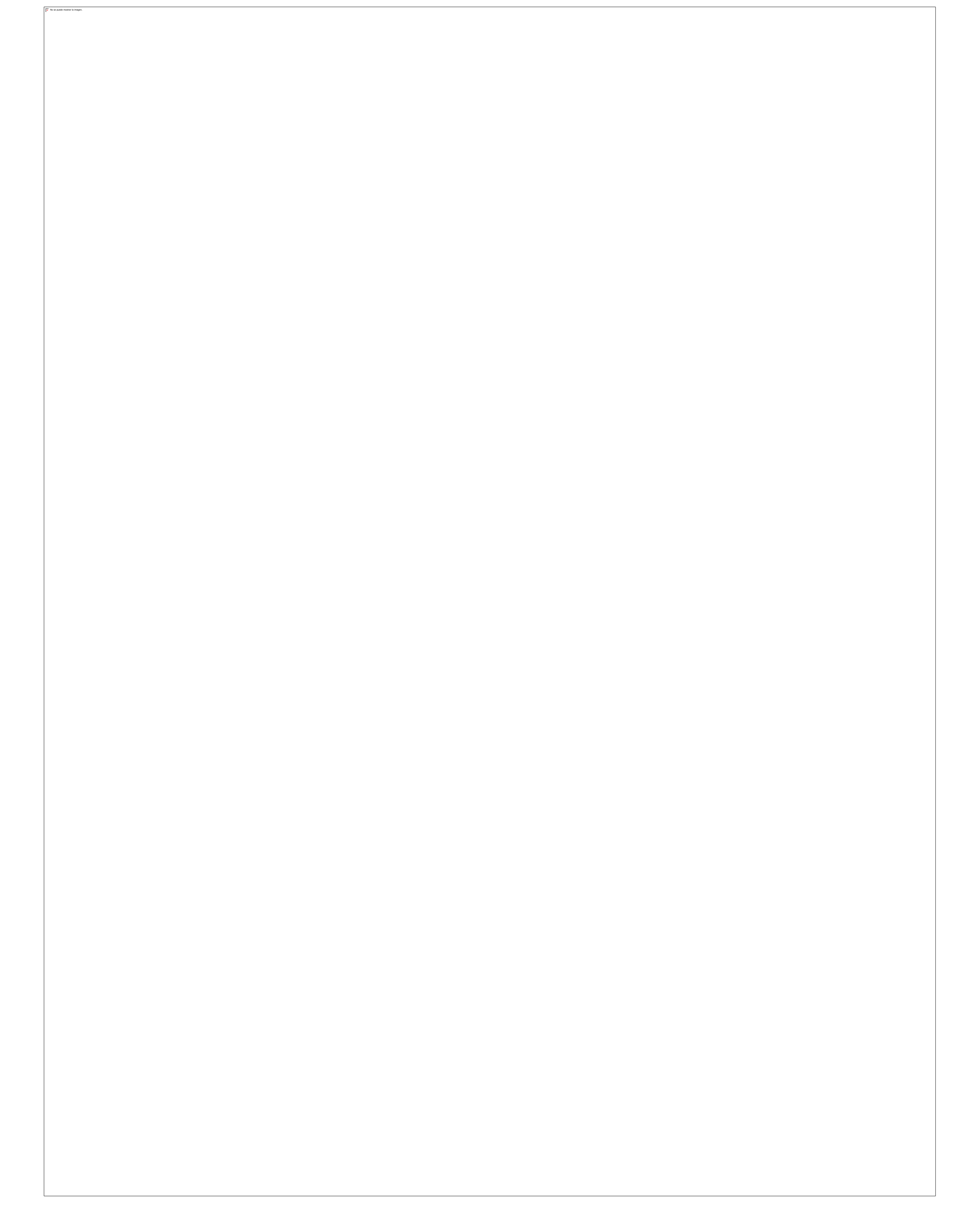
No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

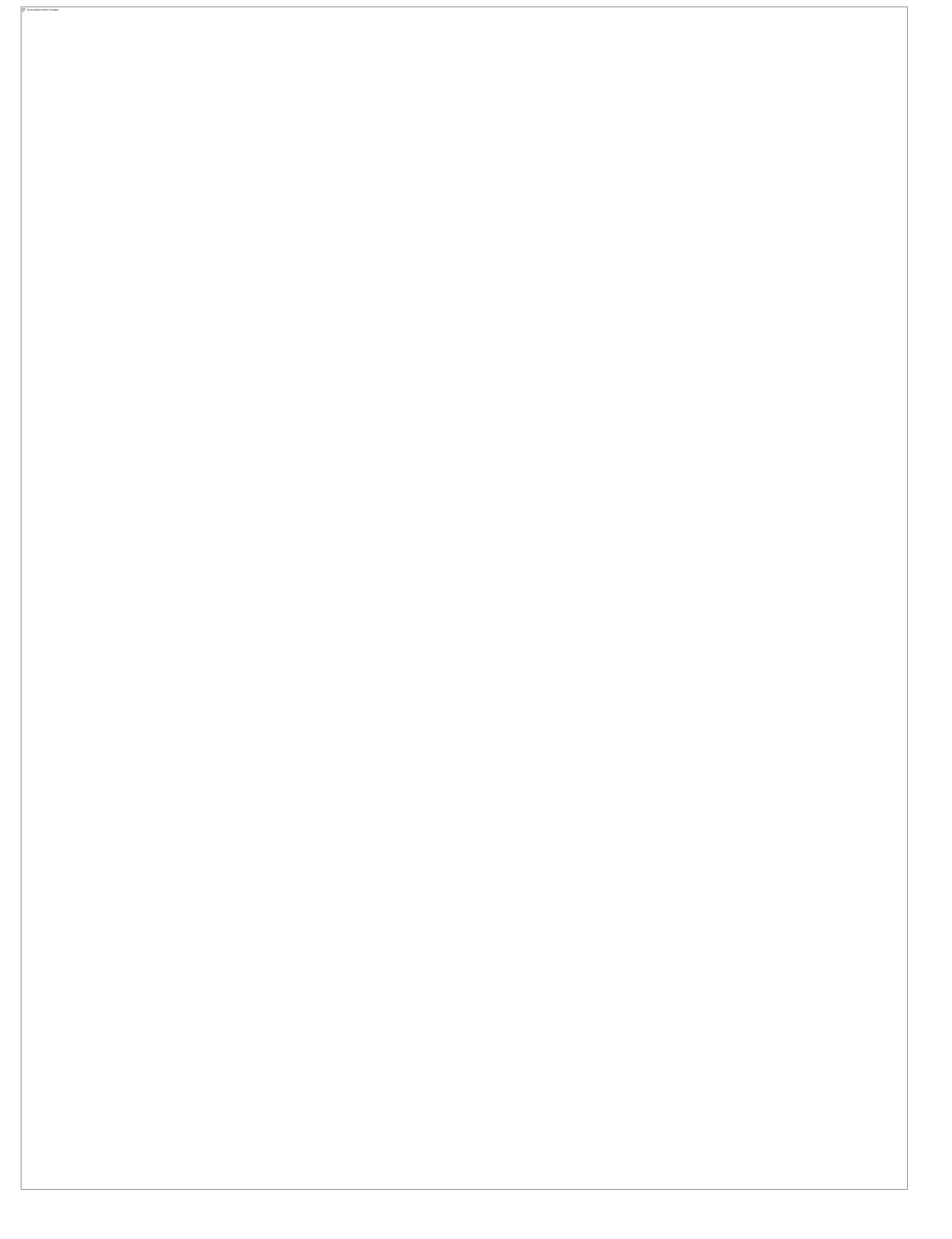

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

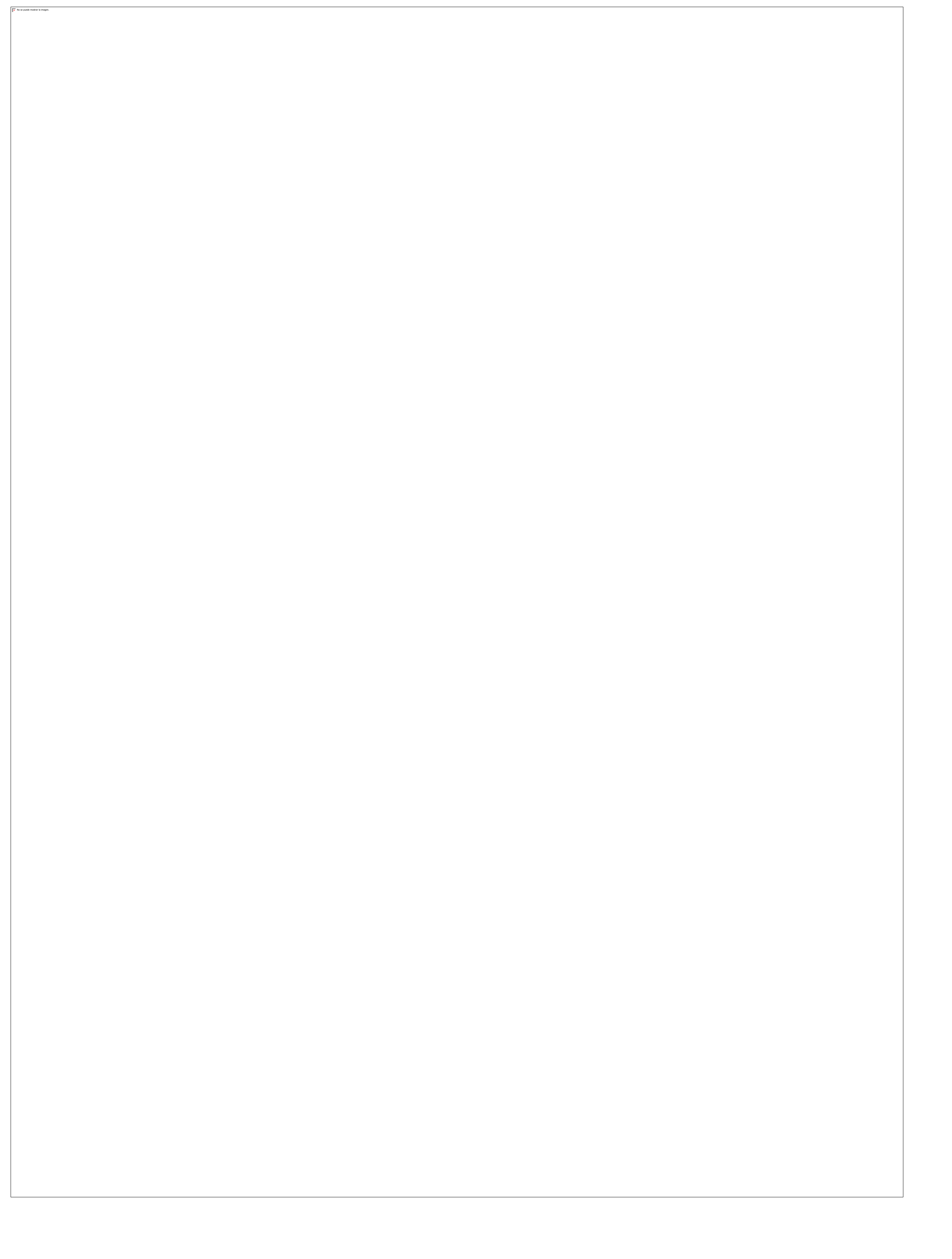

No se puede mostrar la imagen.

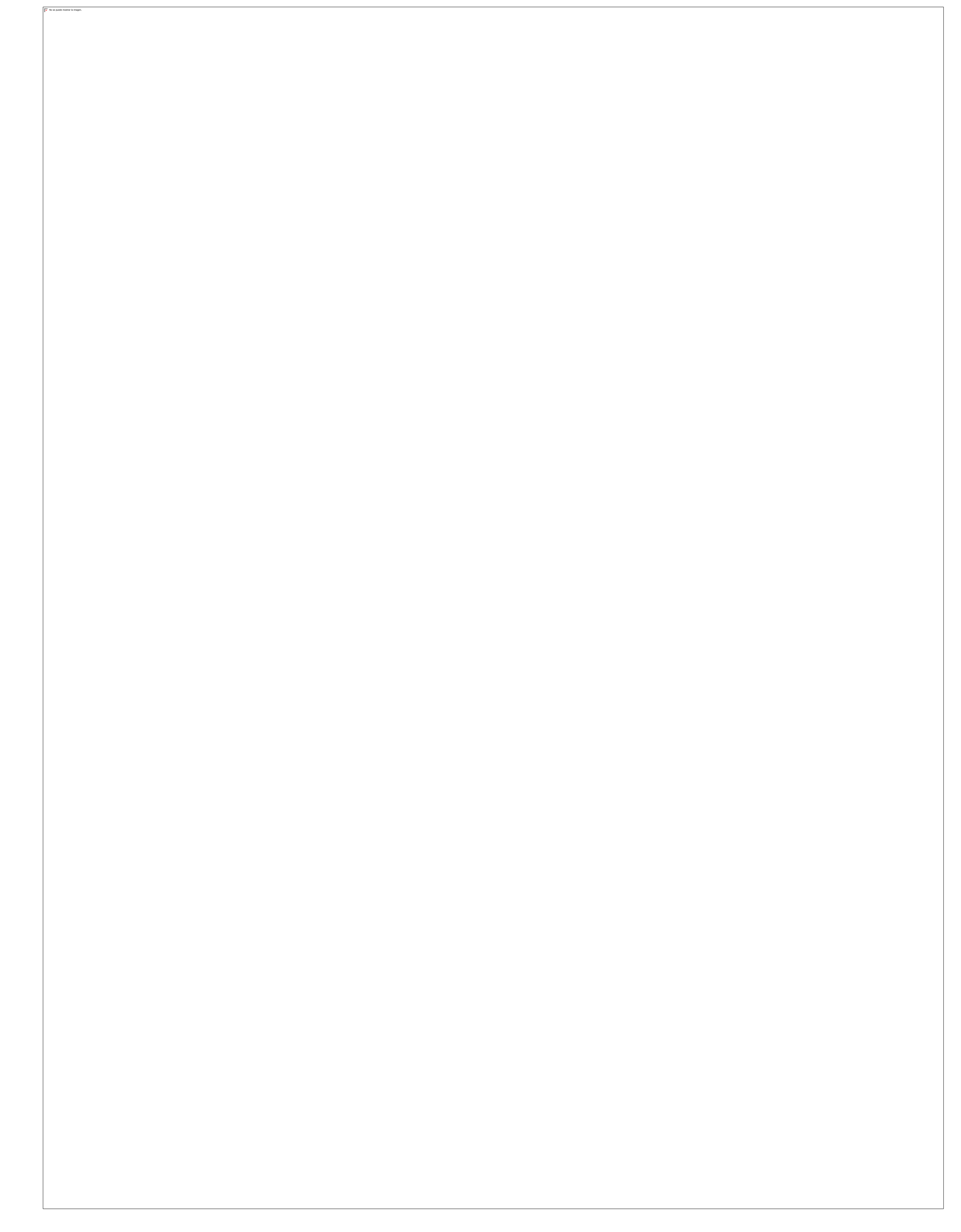

No se puede mostrar la imagen.

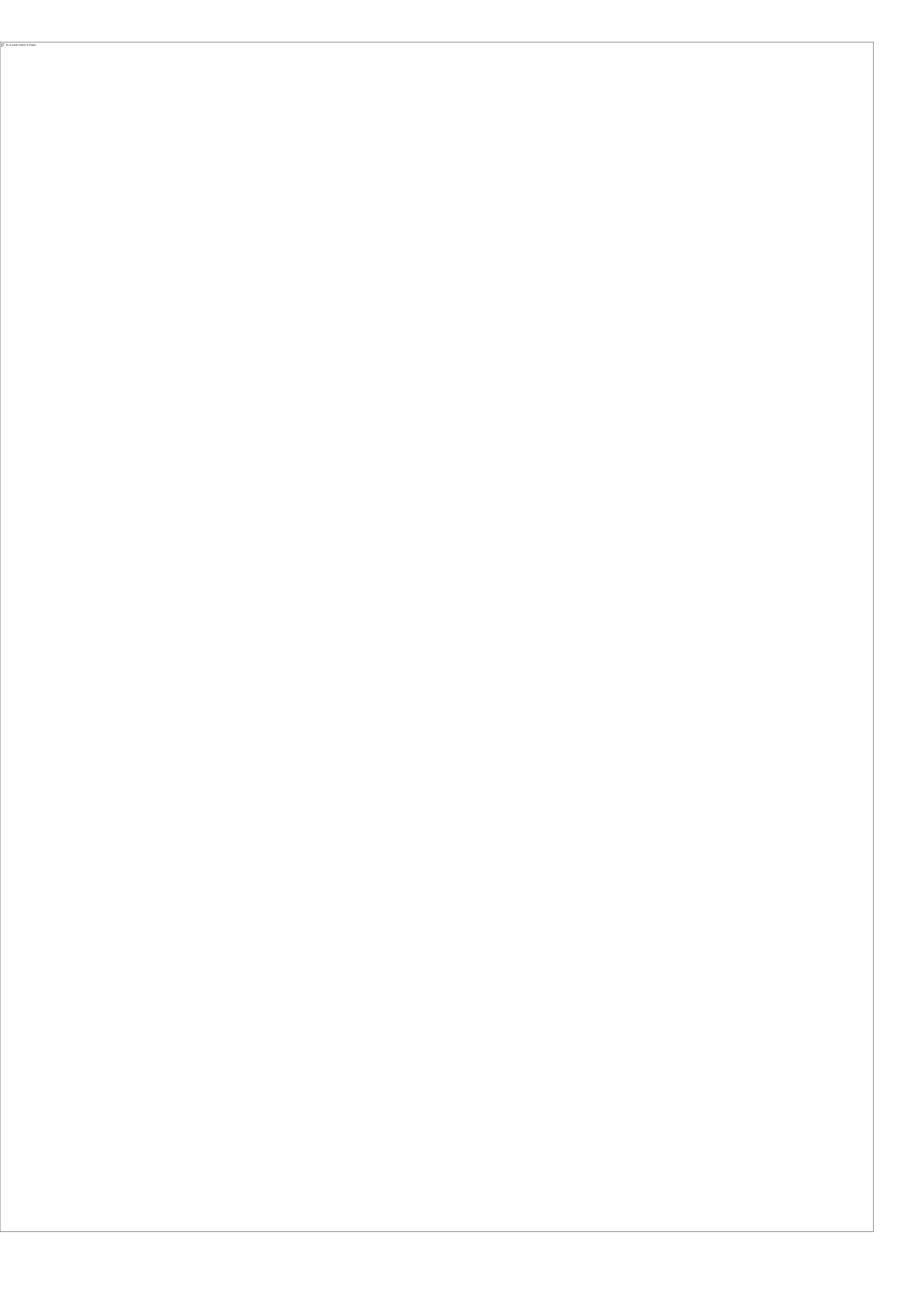
No se puede mostrar la imagen.

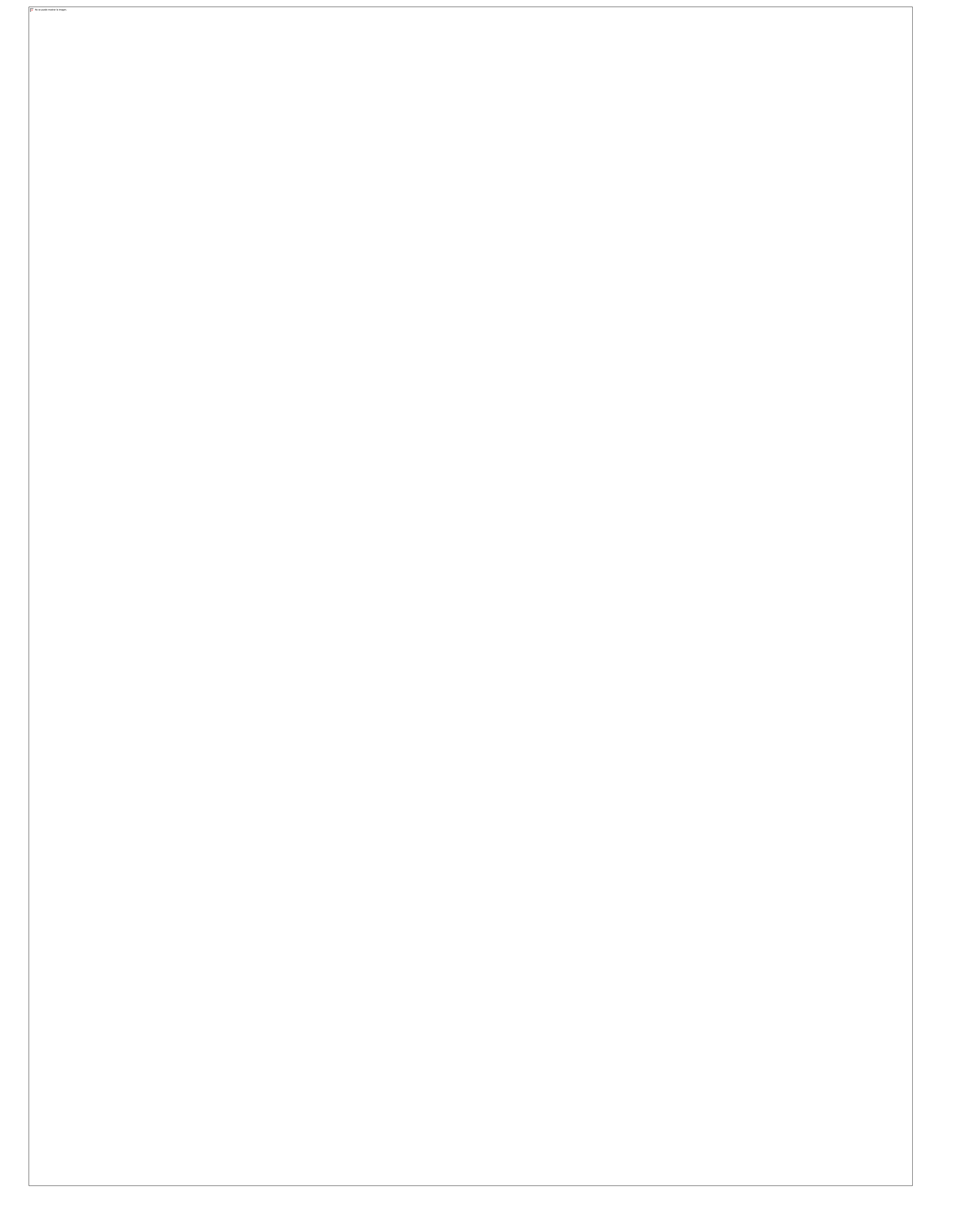

No se puede mostrar la imagen.

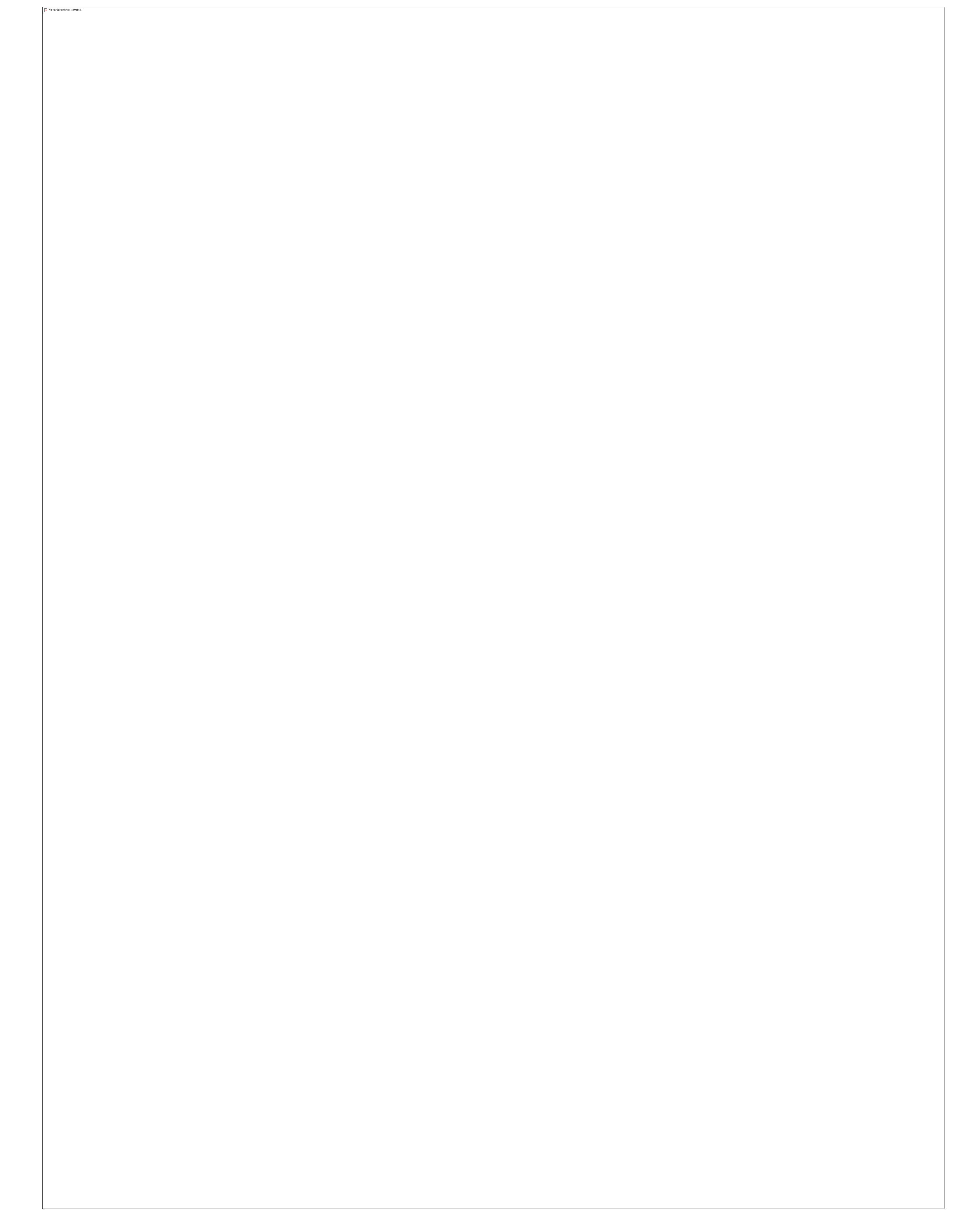
No se puede mostrar la imagen.

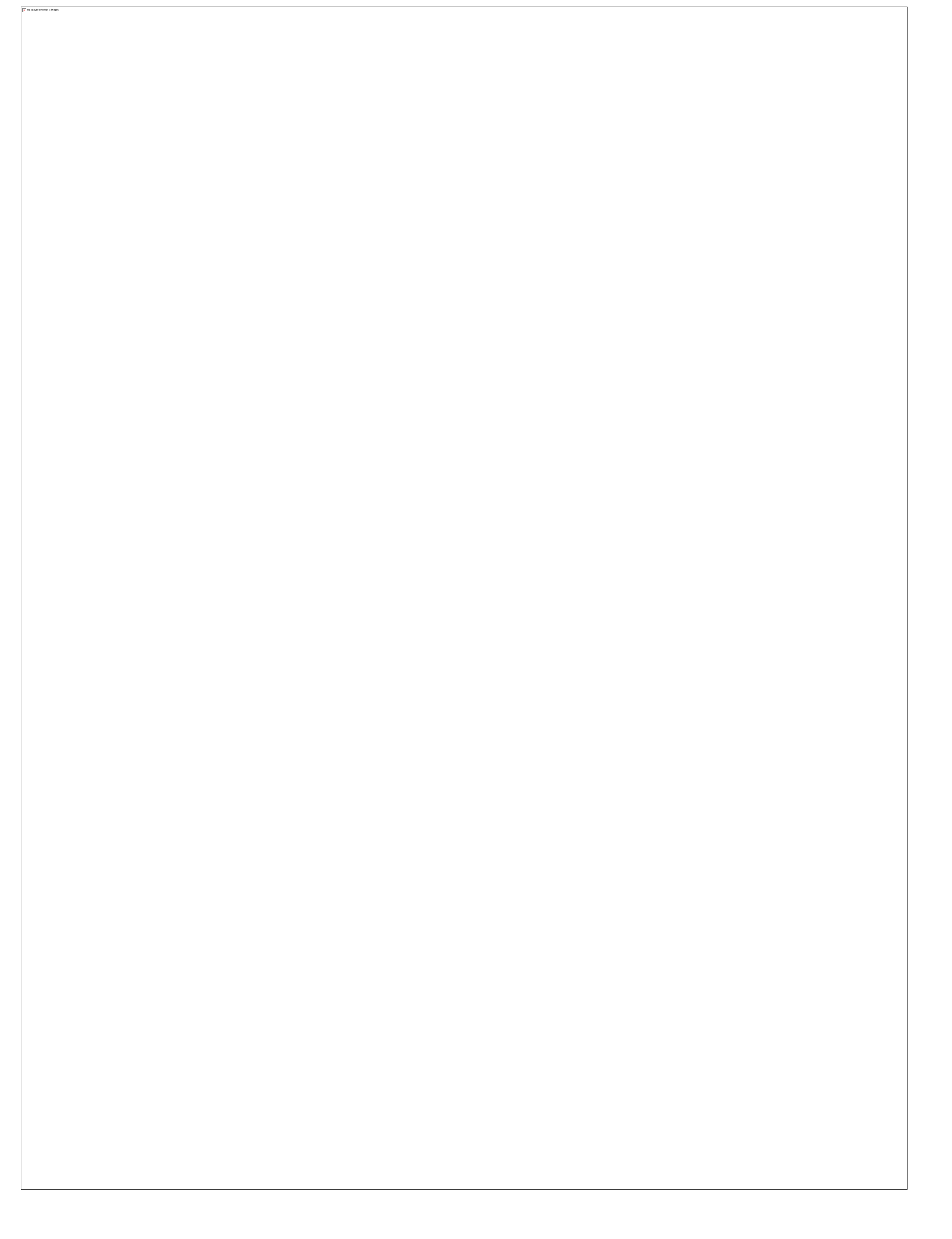

No se puede mostrar la imagen.

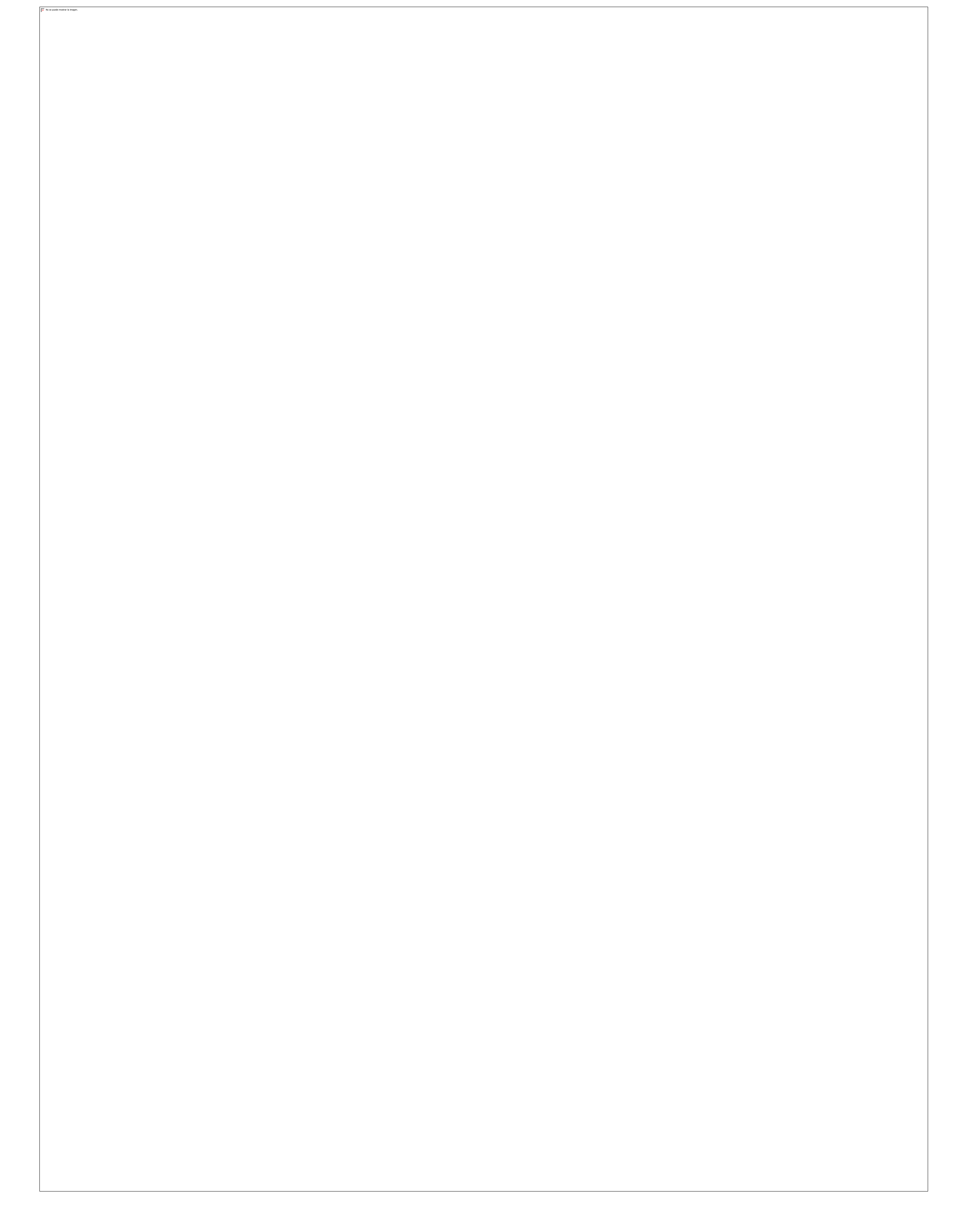

No se puede mostrar la imagen.

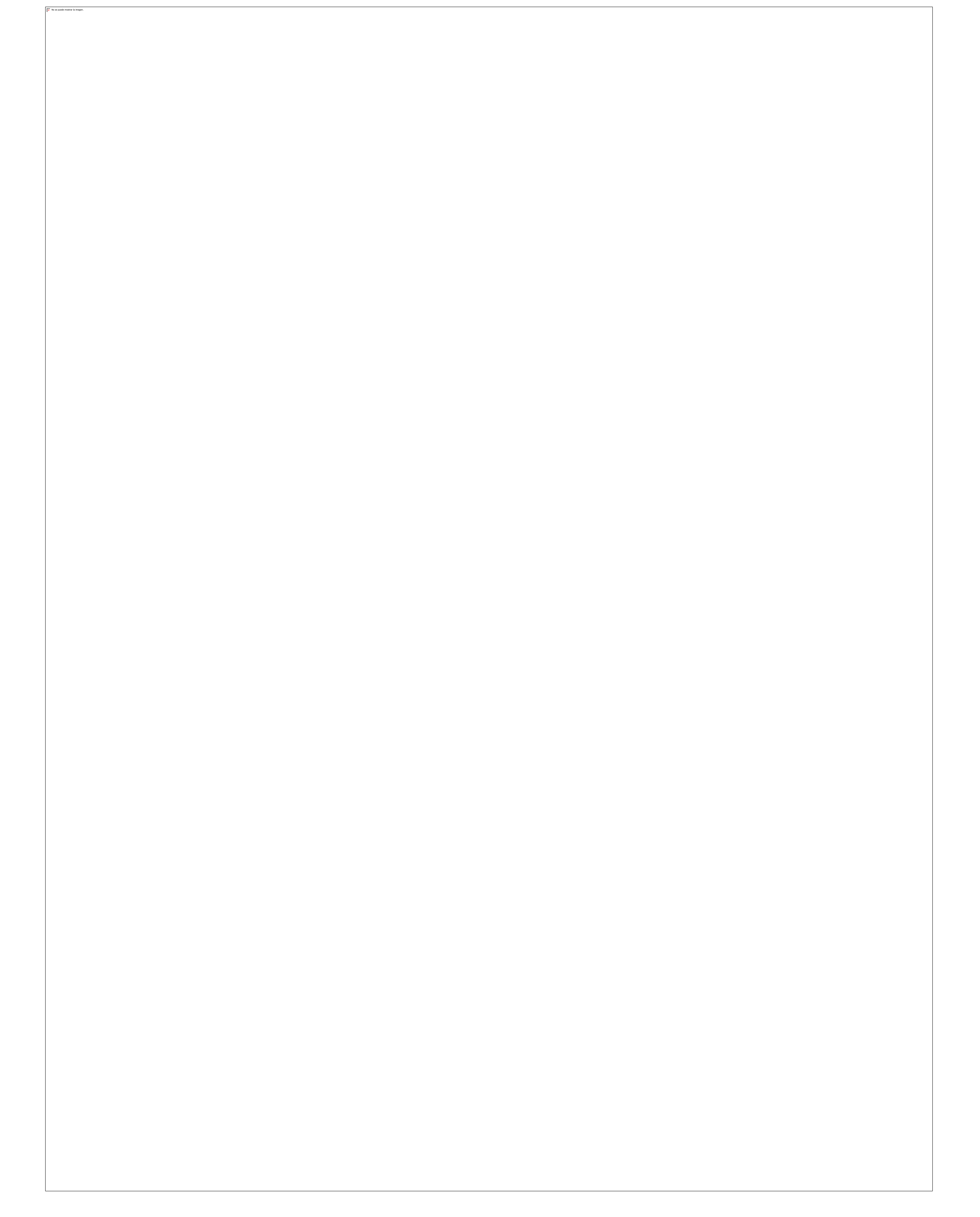

No se puede mostrar la imagen.

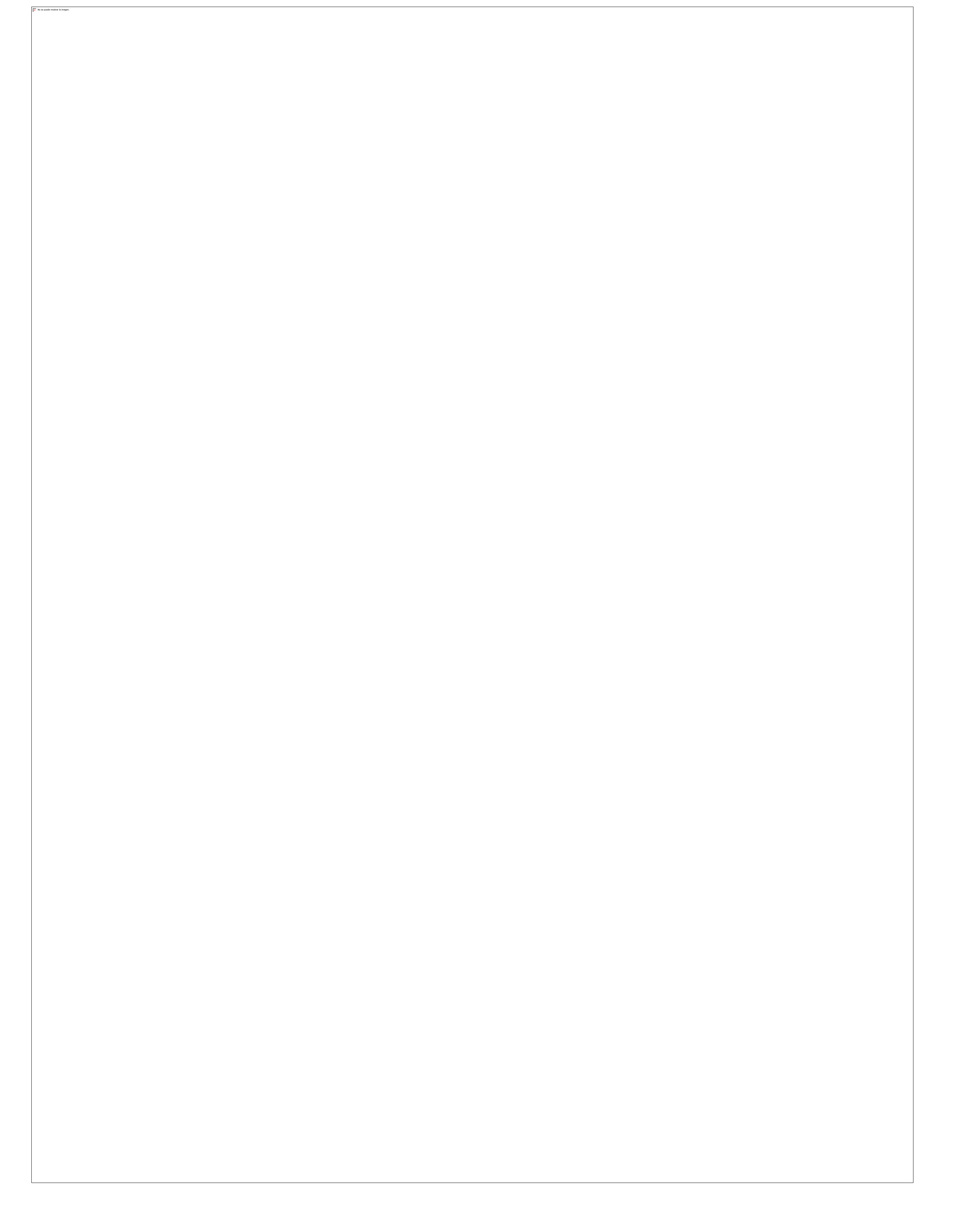

No se puede mostrar la imagen.

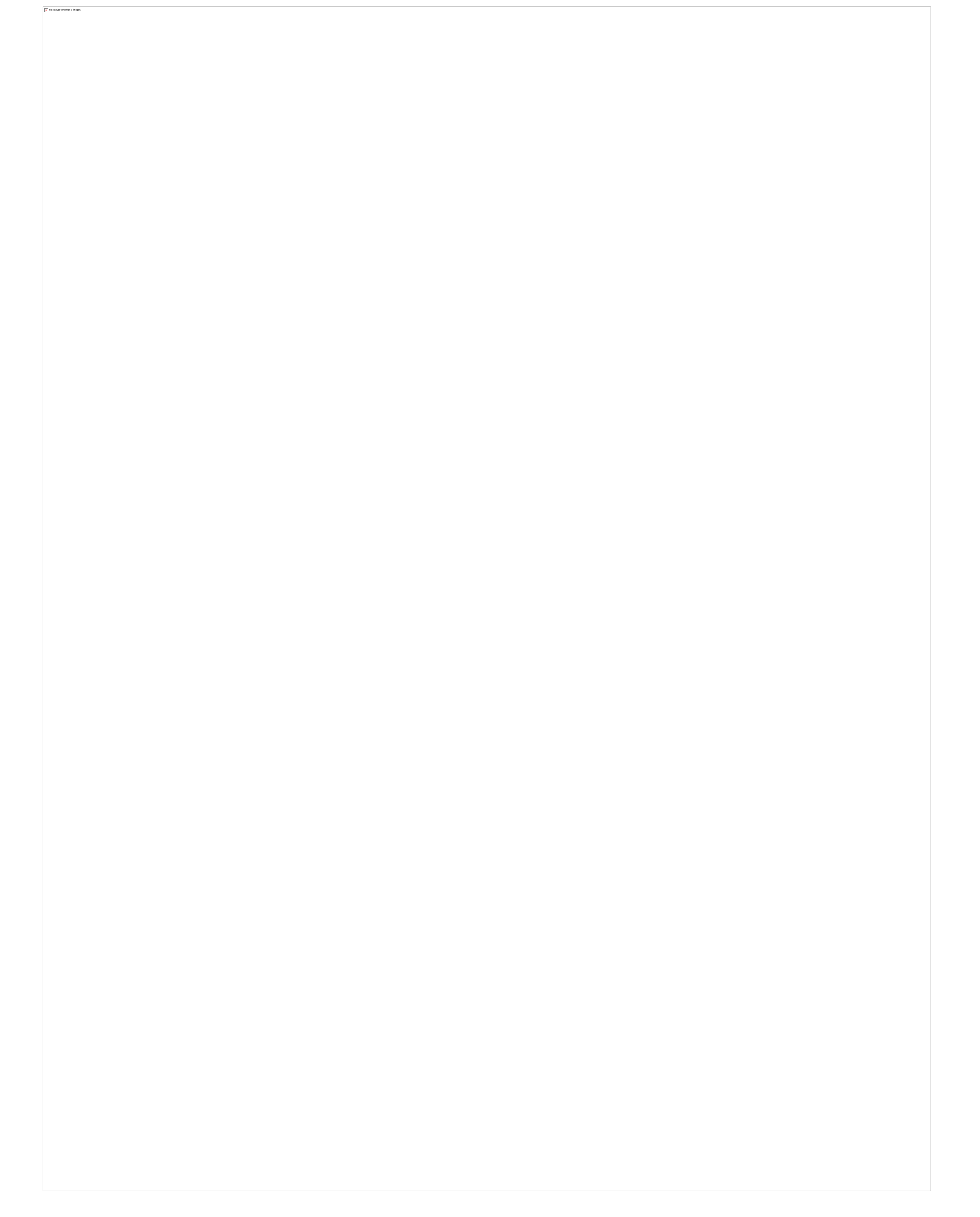

No se puede mostrar la imagen.

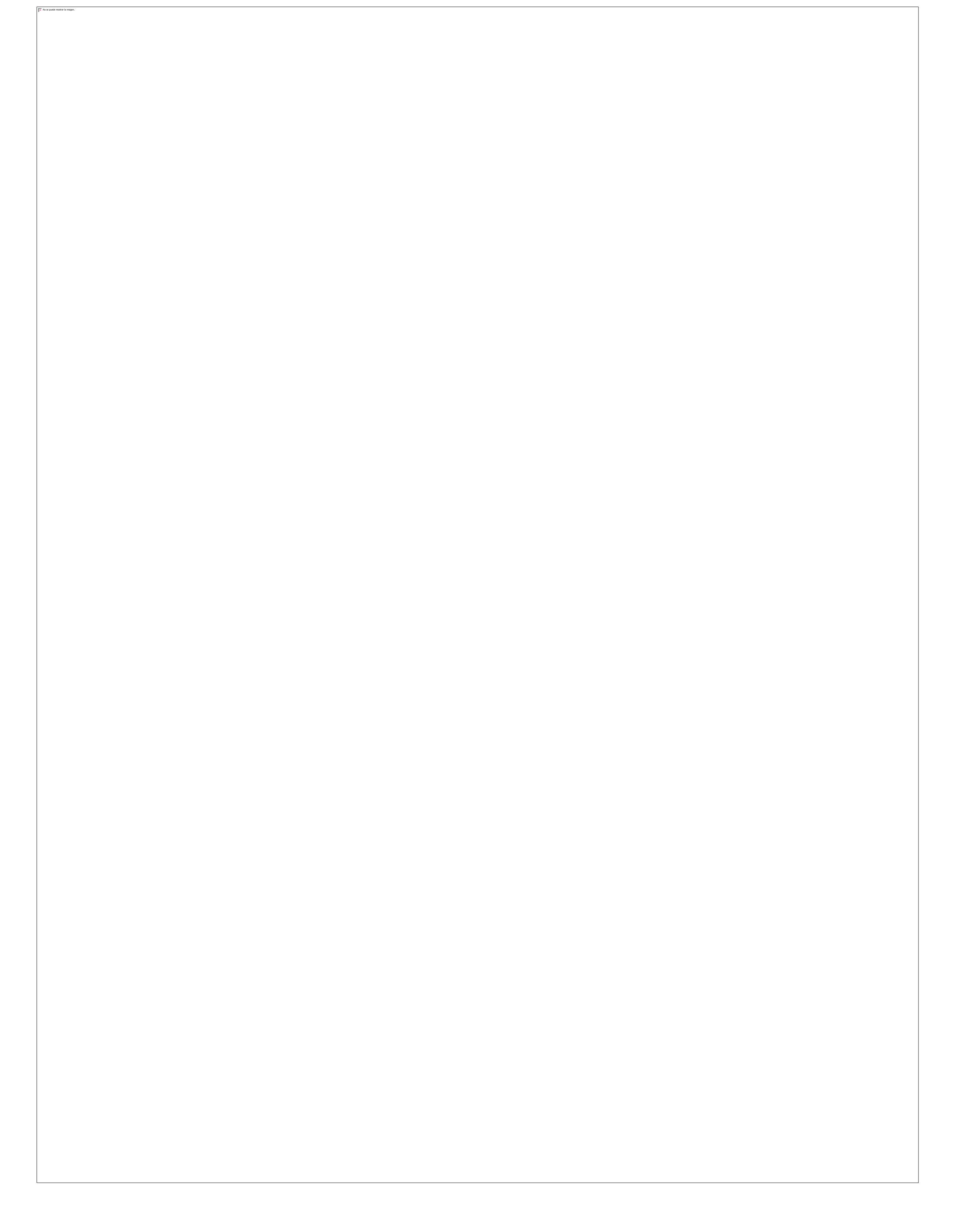

No se puede mostrar la imagen.

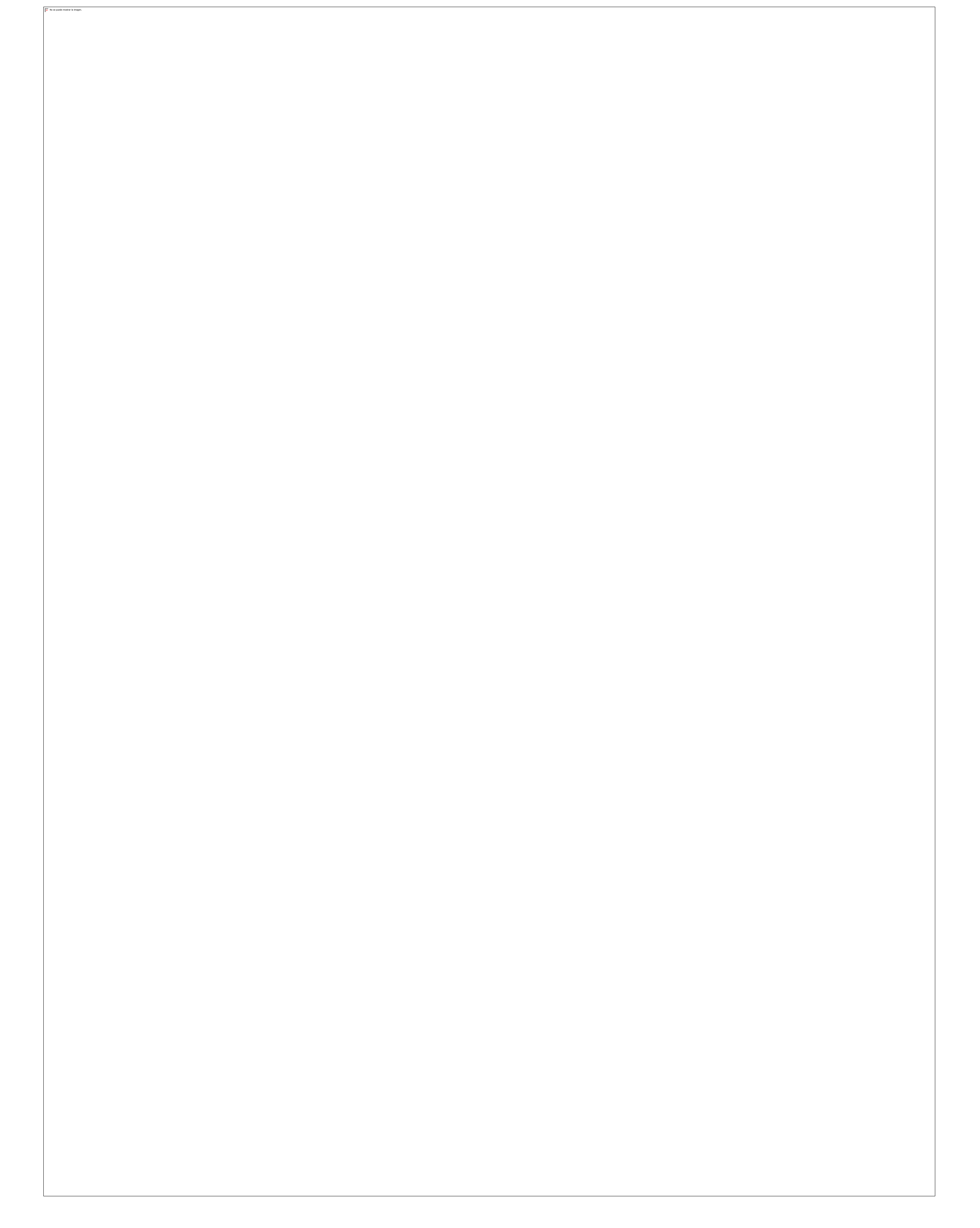

No se puede mostrar la imagen.

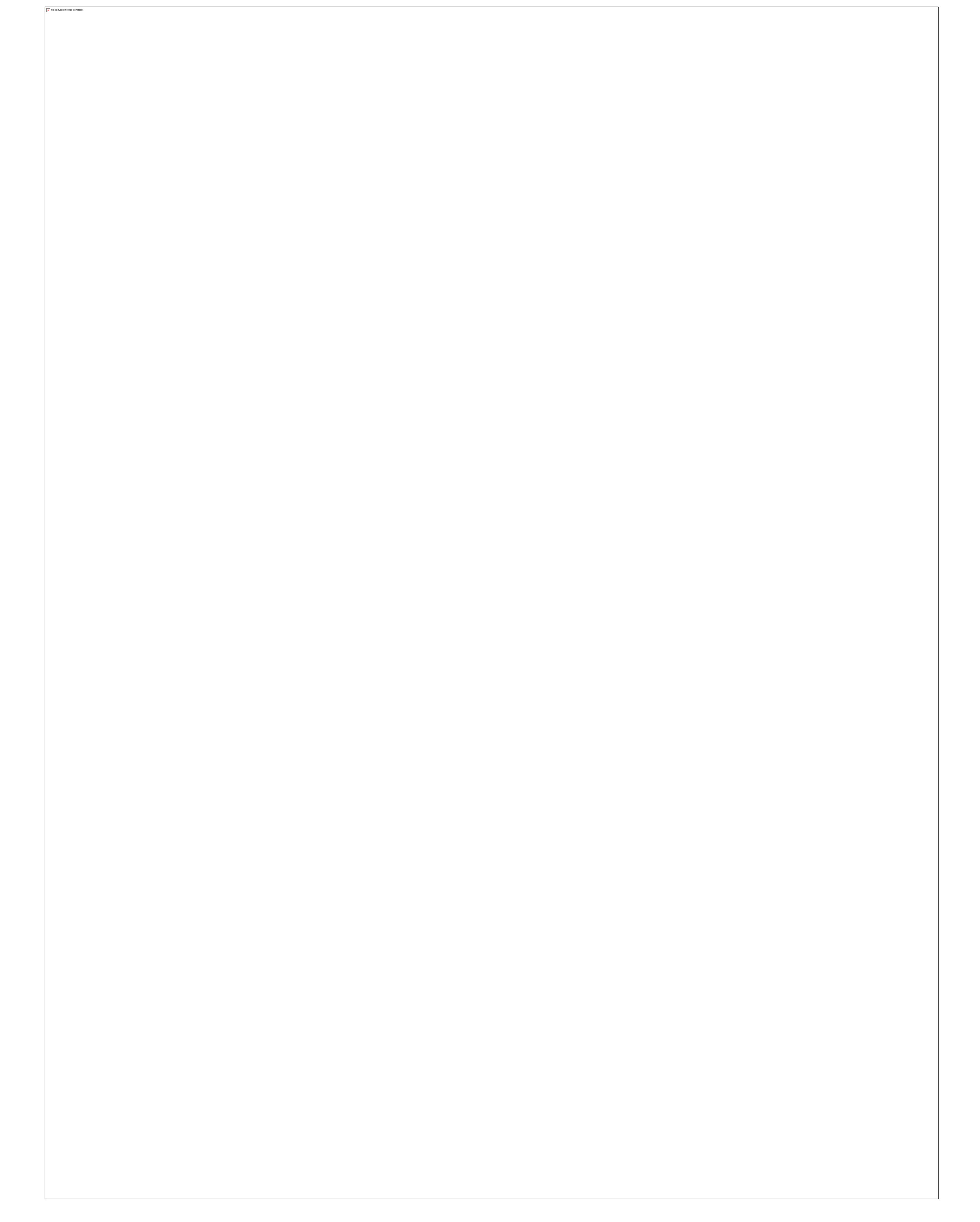

No se puede mostrar la imagen.

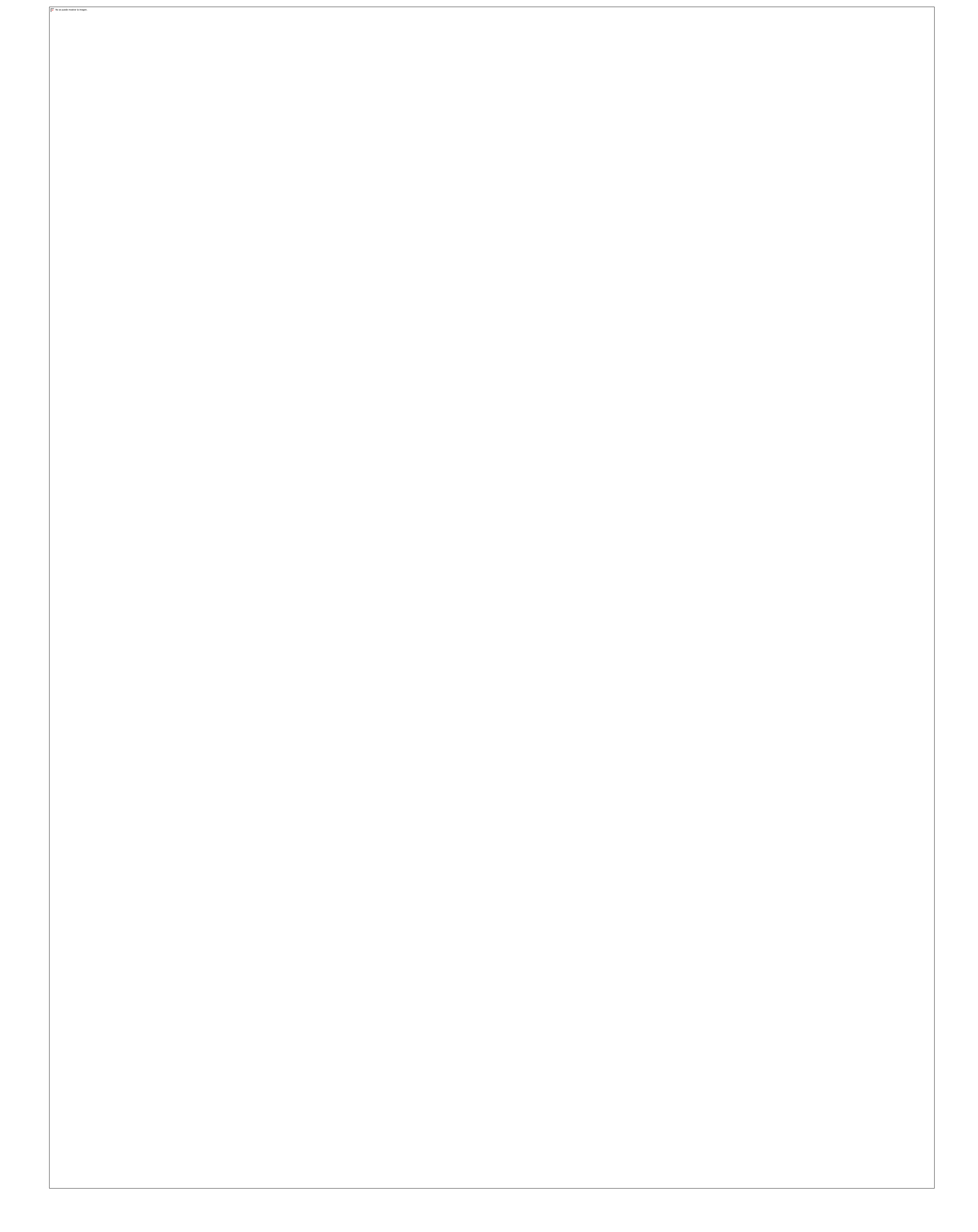

No se puede mostrar la imagen.

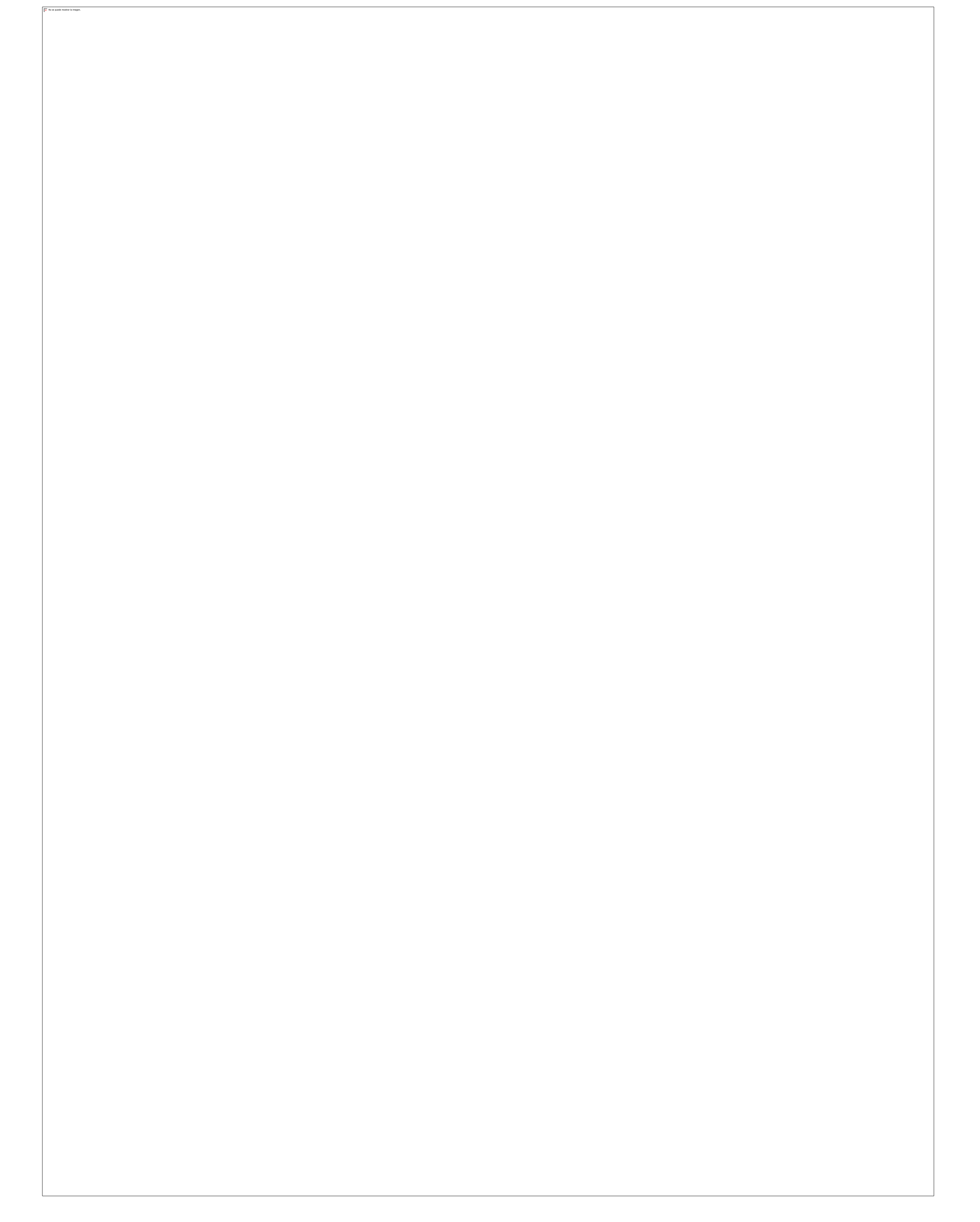

No se puede mostrar la imagen.

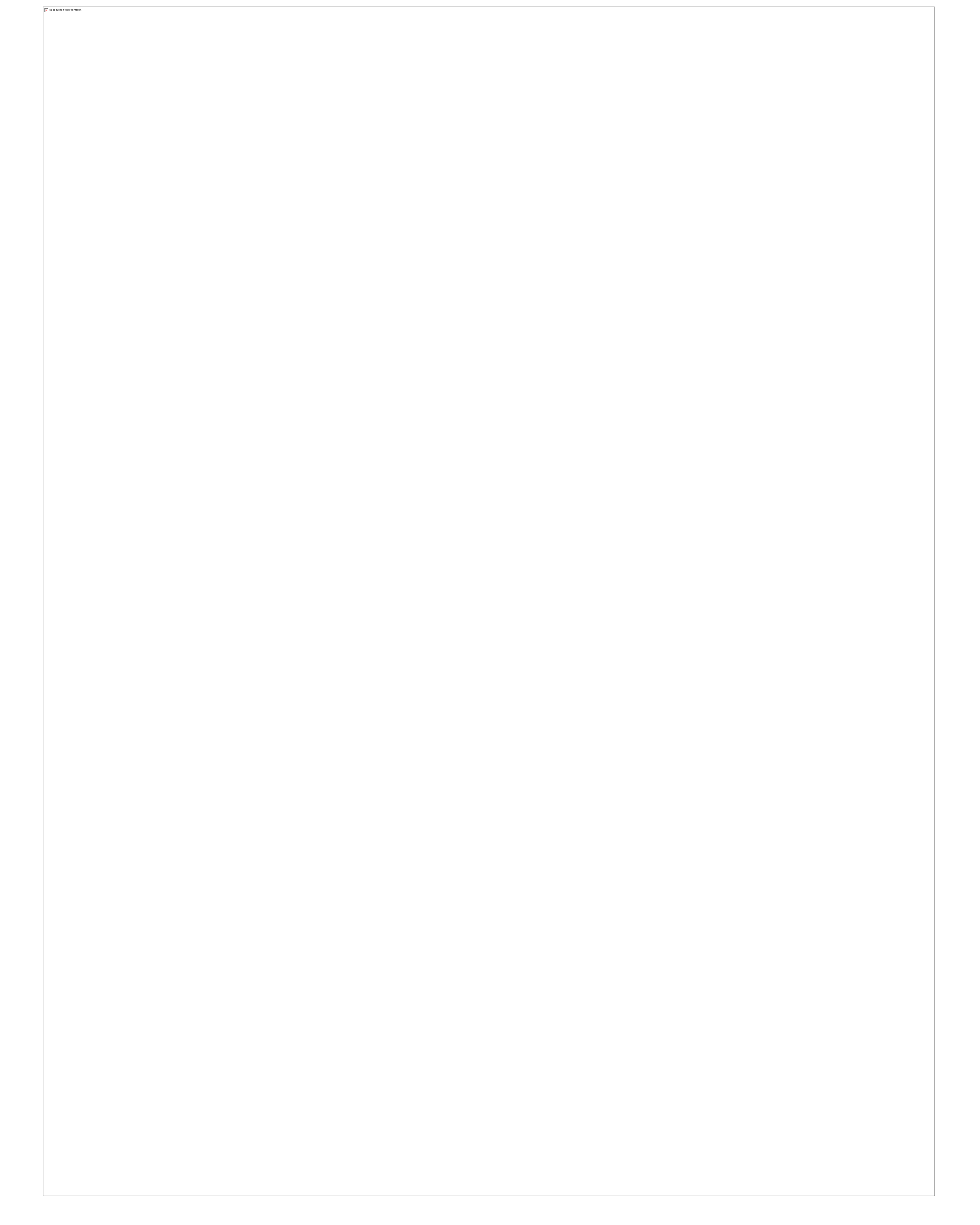

No se puede mostrar la imagen.

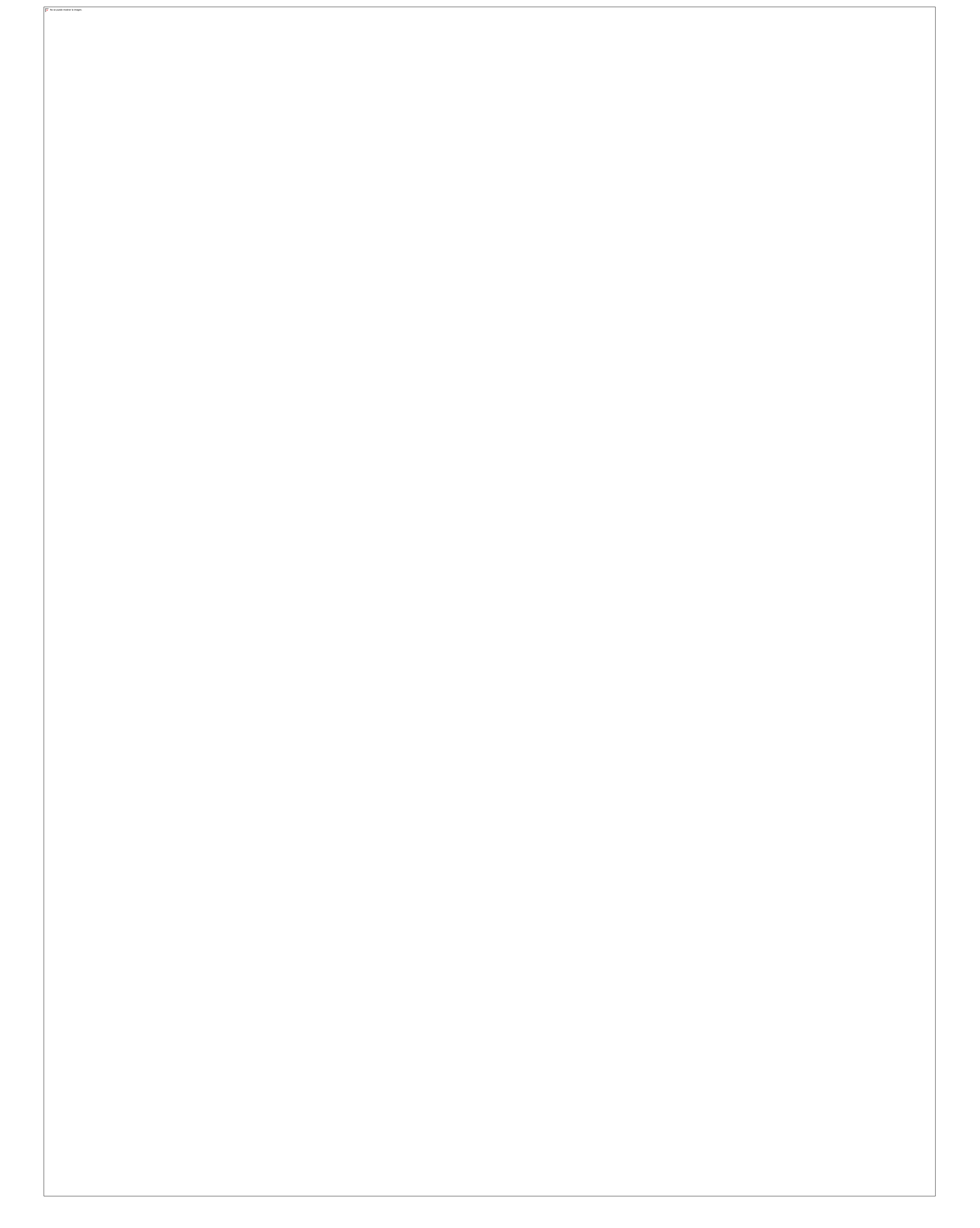

No se puede mostrar la imagen.

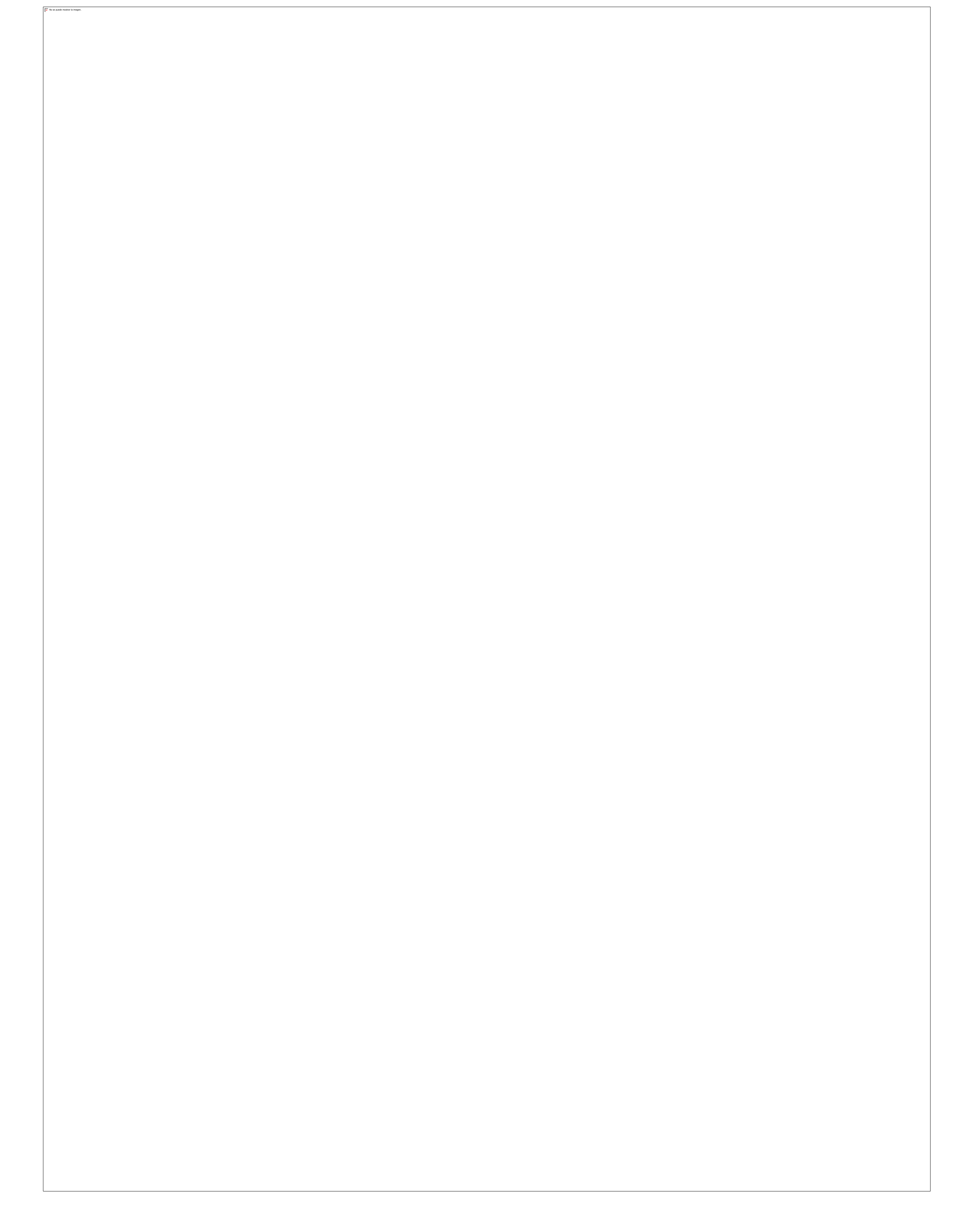

No se puede mostrar la imagen.

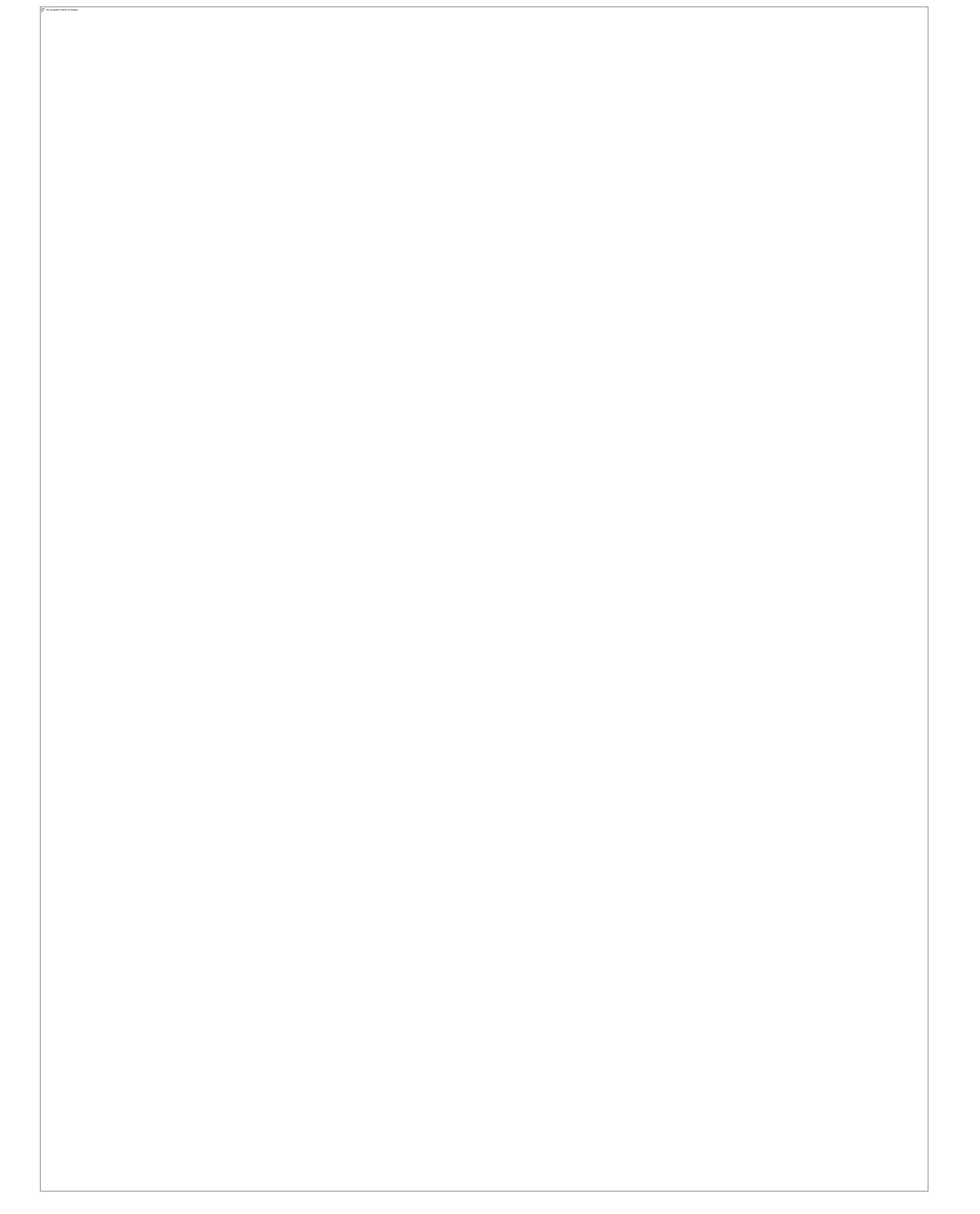

No se puede mostrar la imagen.

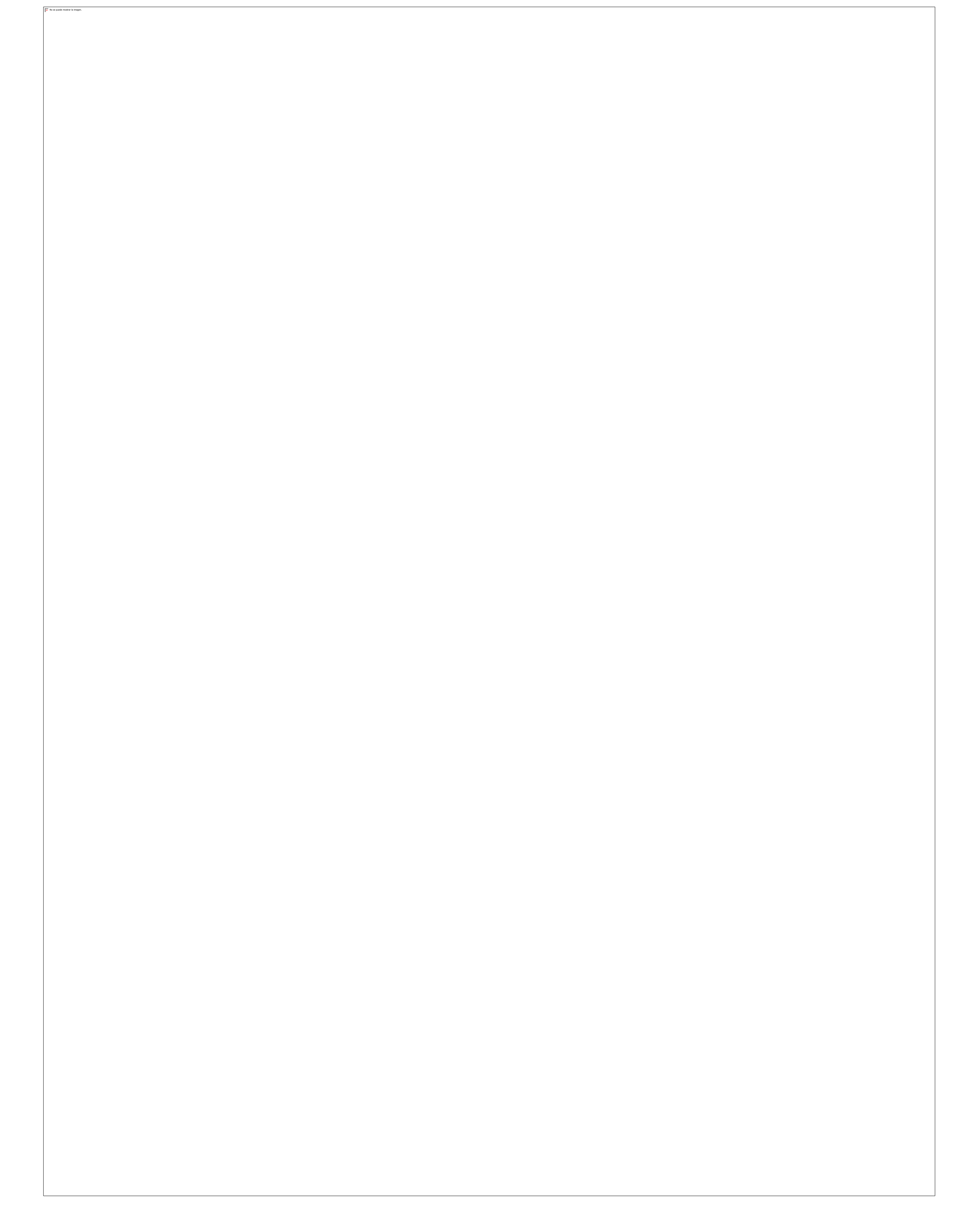

No se puede mostrar la imagen.

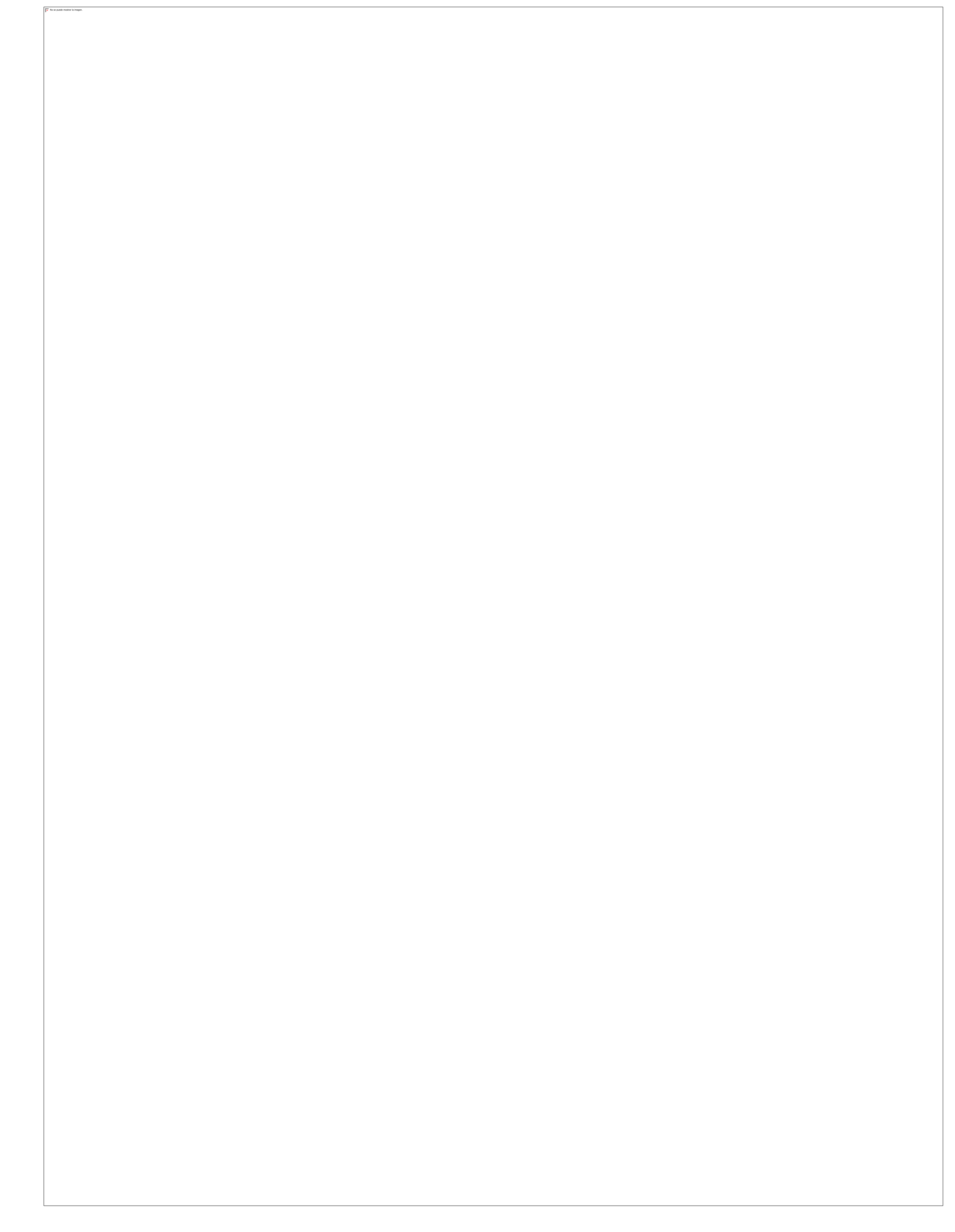

No se puede mostrar la imagen.

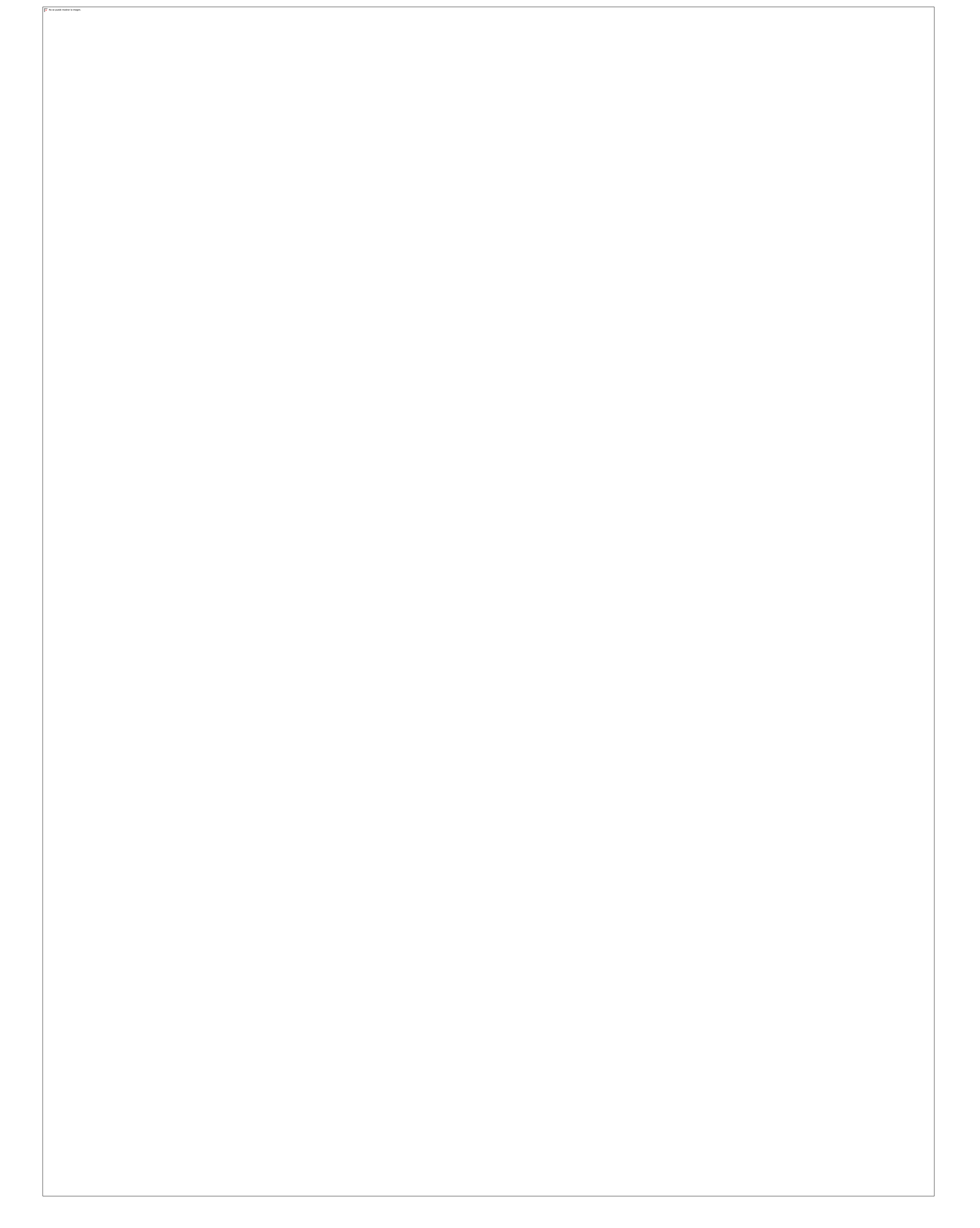

No se puede mostrar la imagen.

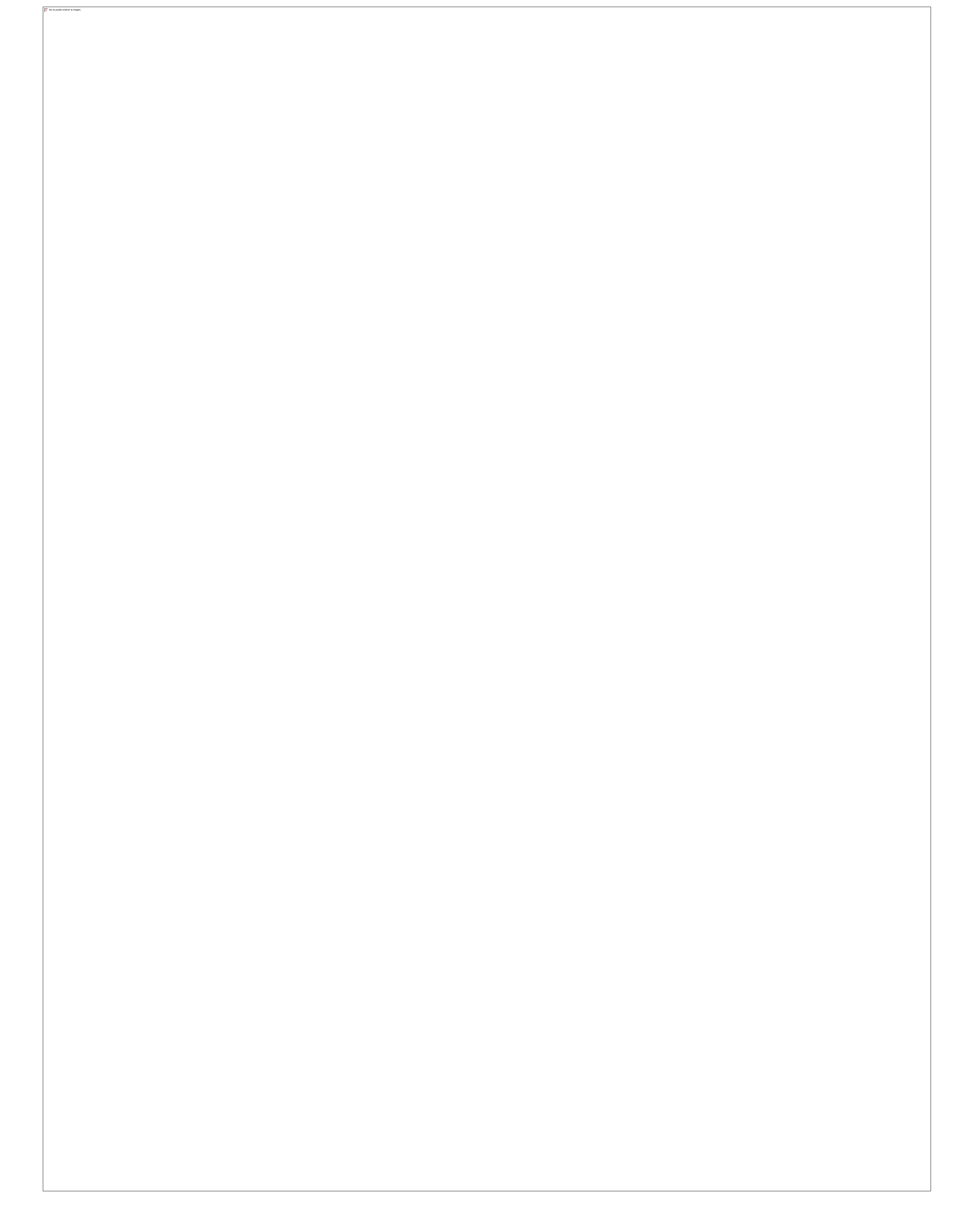

No se puede mostrar la imagen.

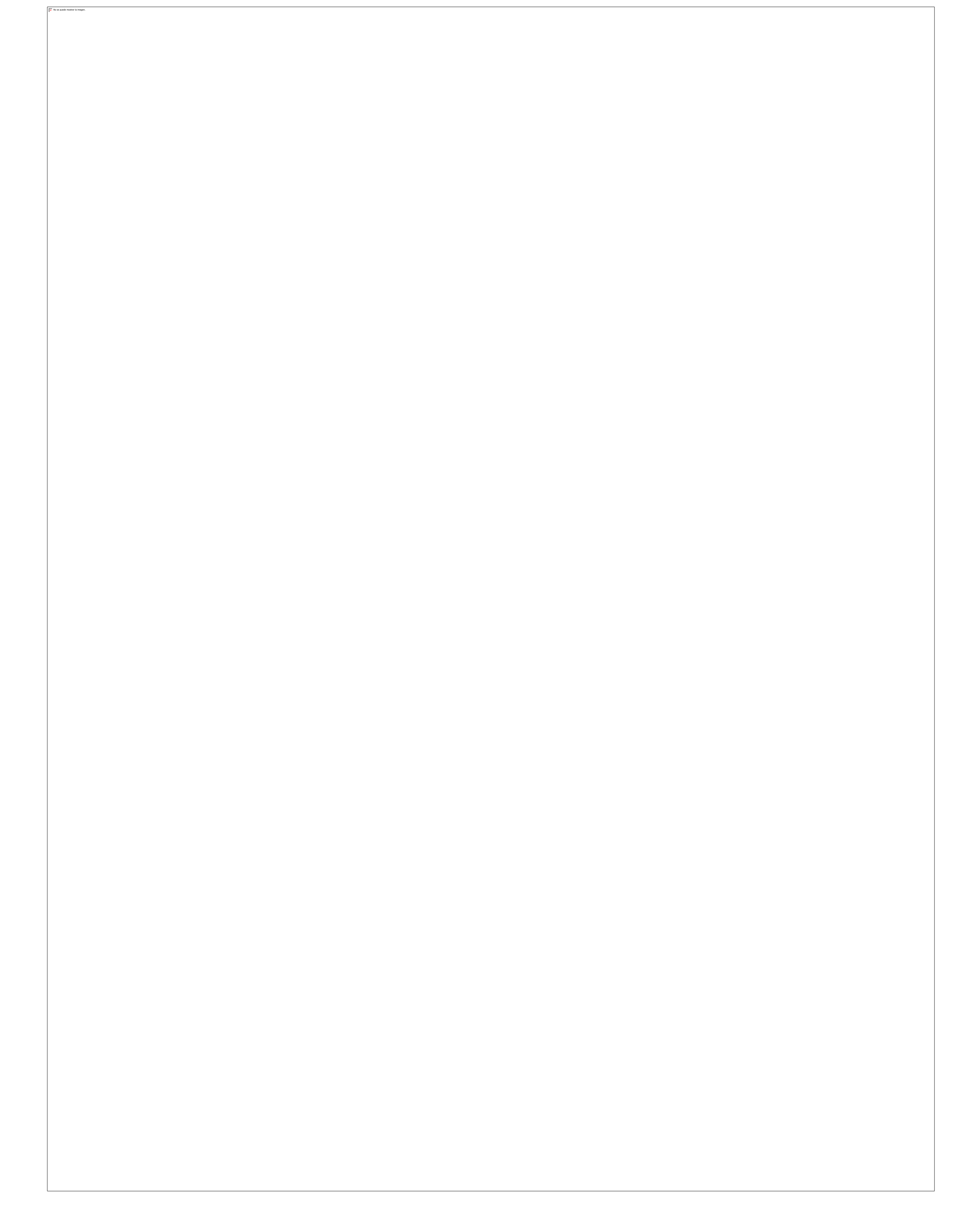

No se puede mostrar la imagen.

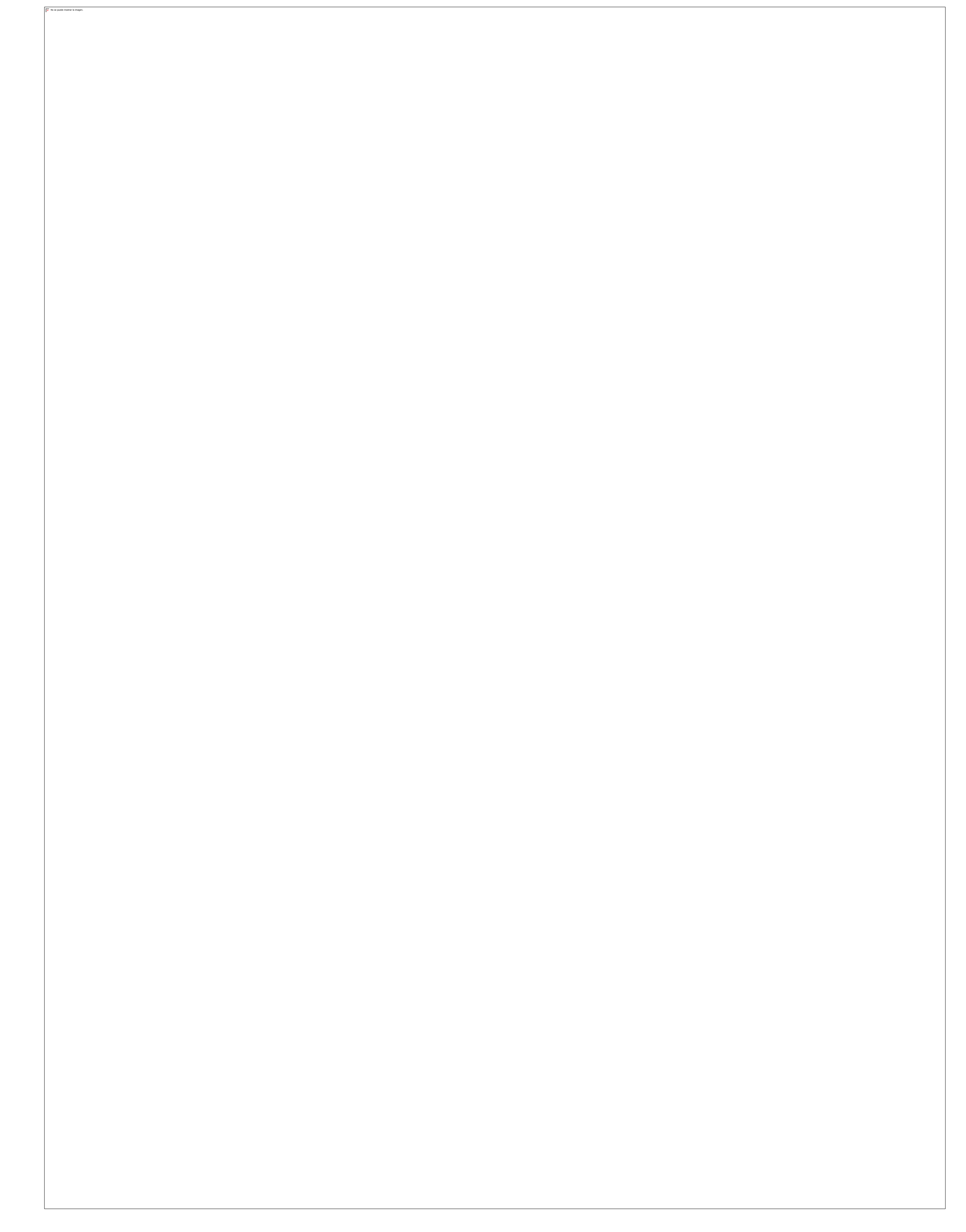

No se puede mostrar la imagen.

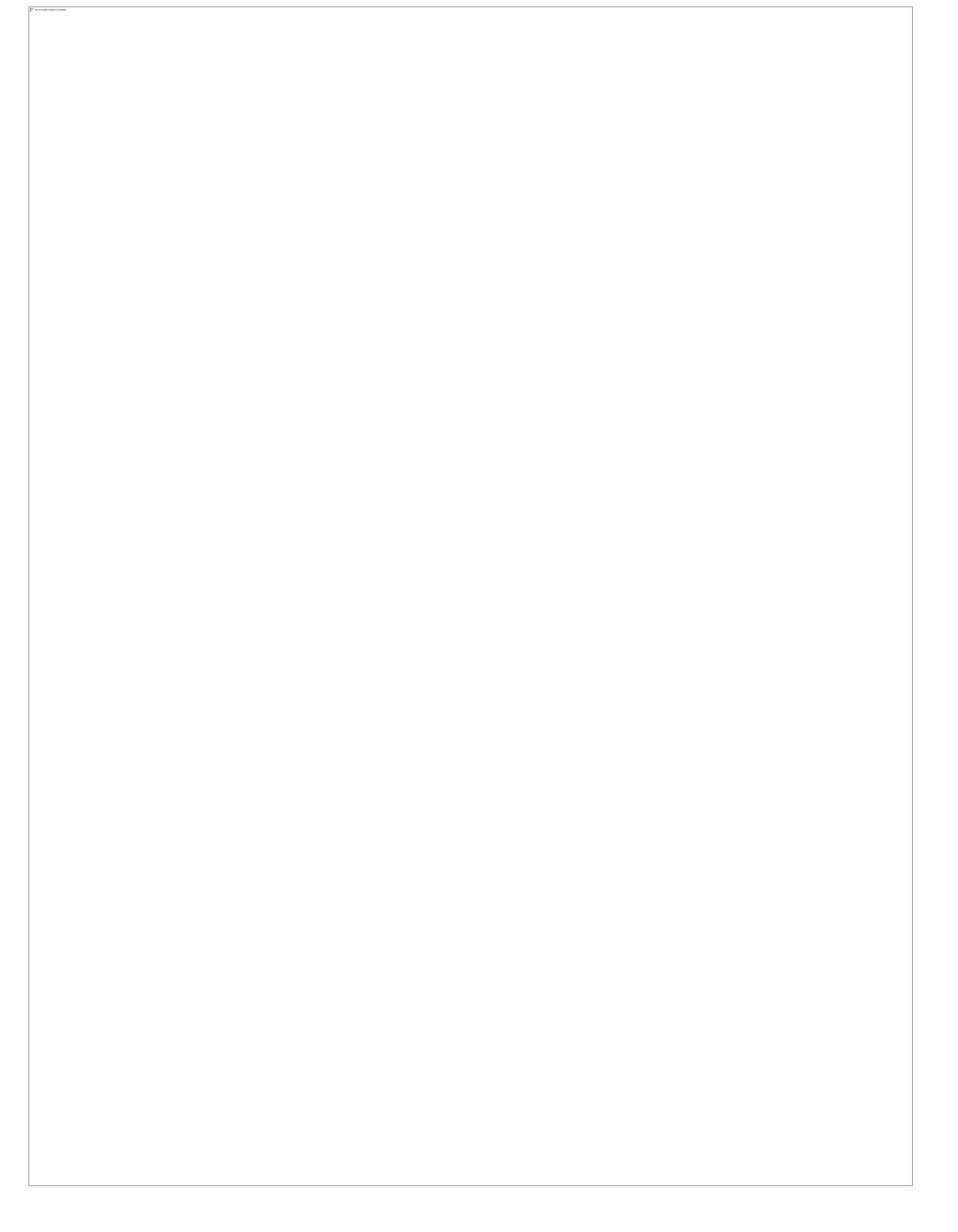

No se puede mostrar la imagen.

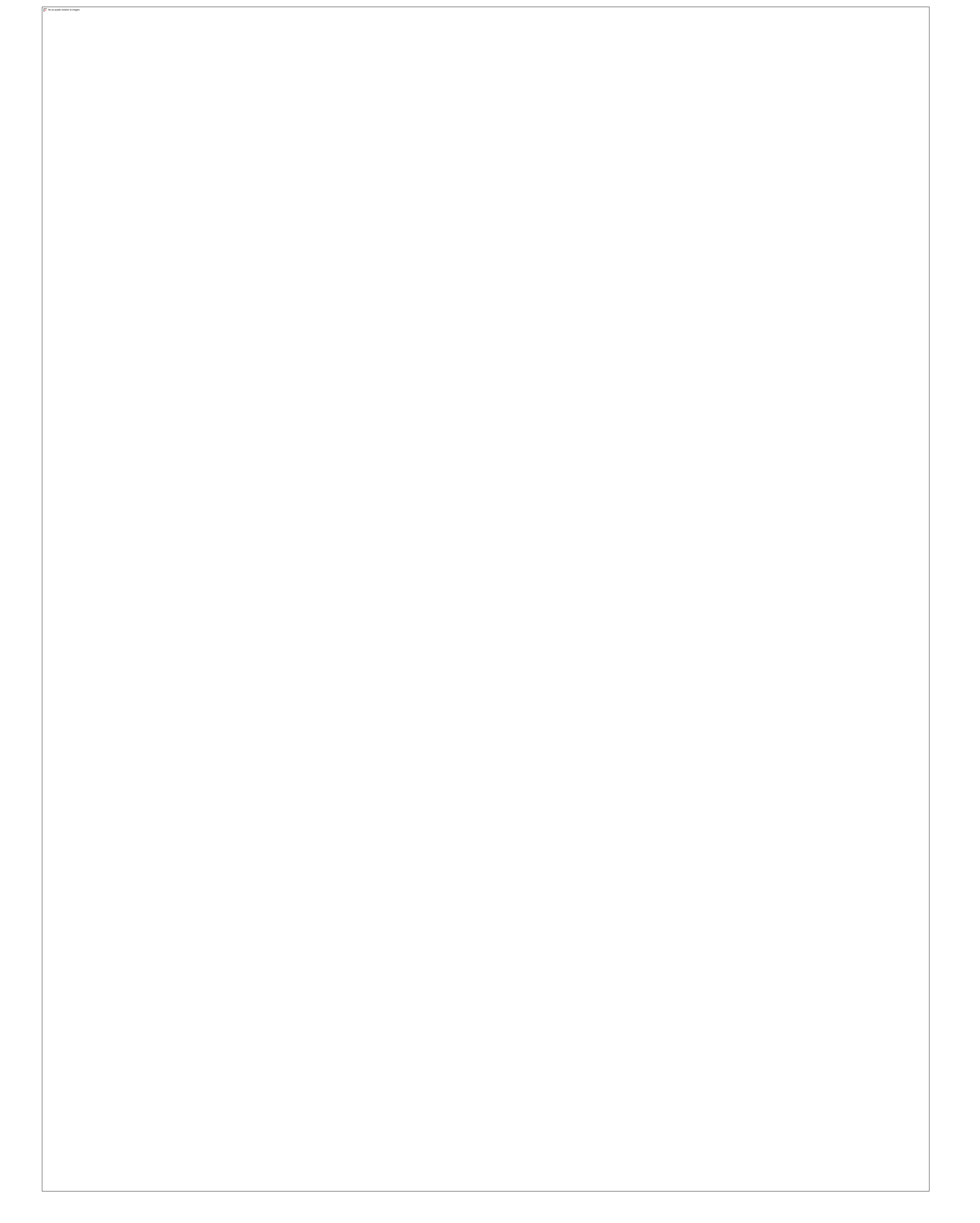

No se puede mostrar la imagen.

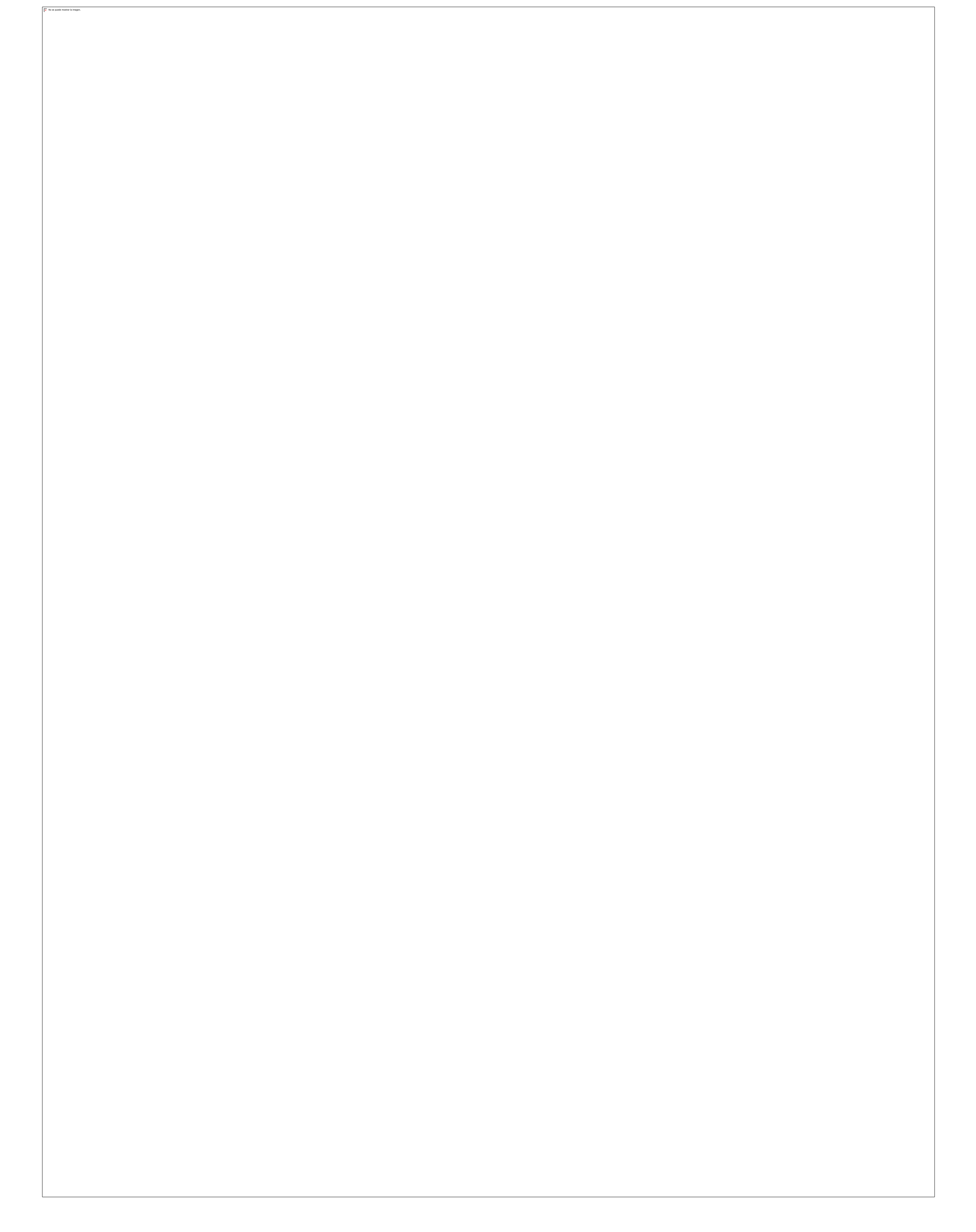

No se puede mostrar la imagen.

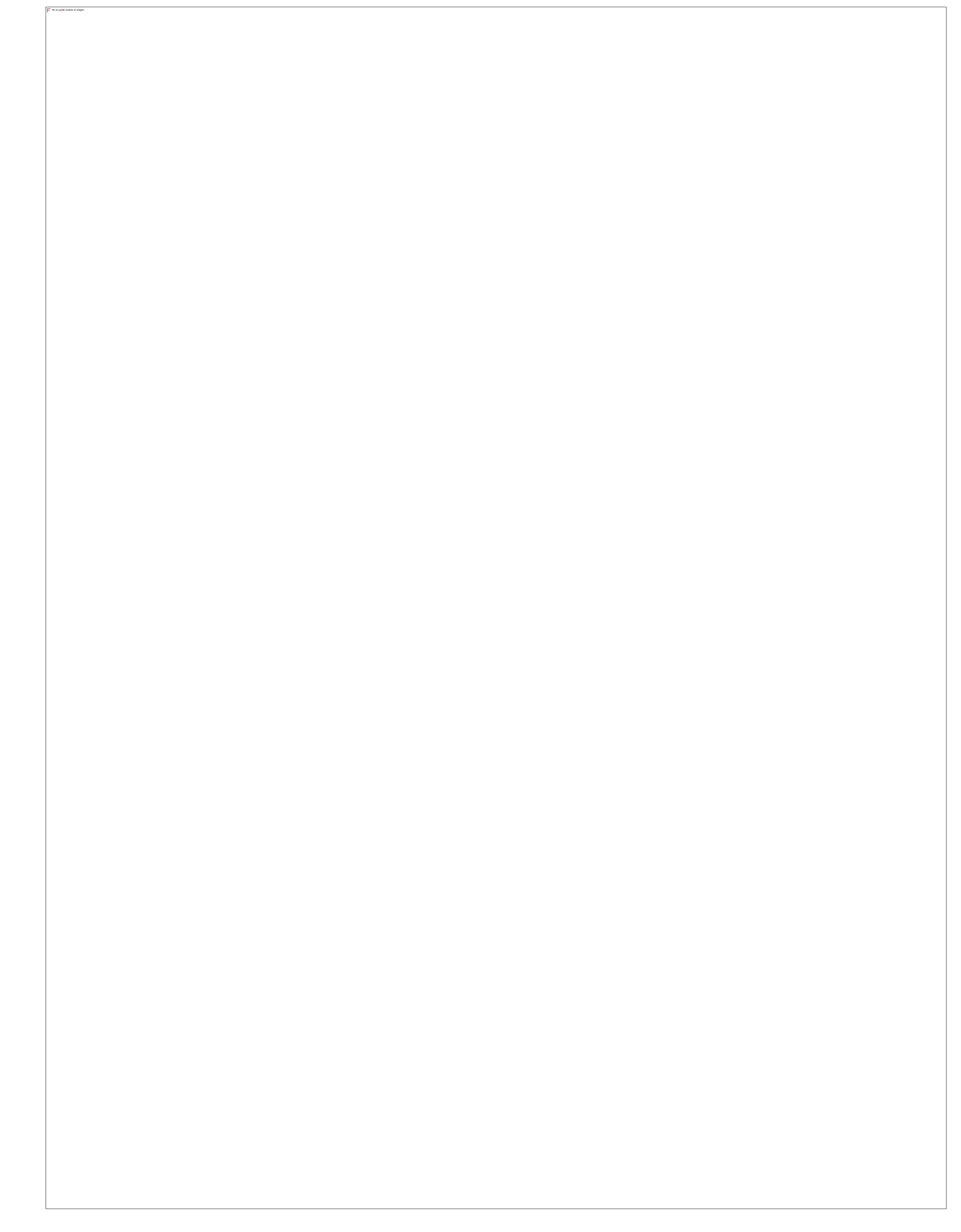

No se puede mostrar la imagen.

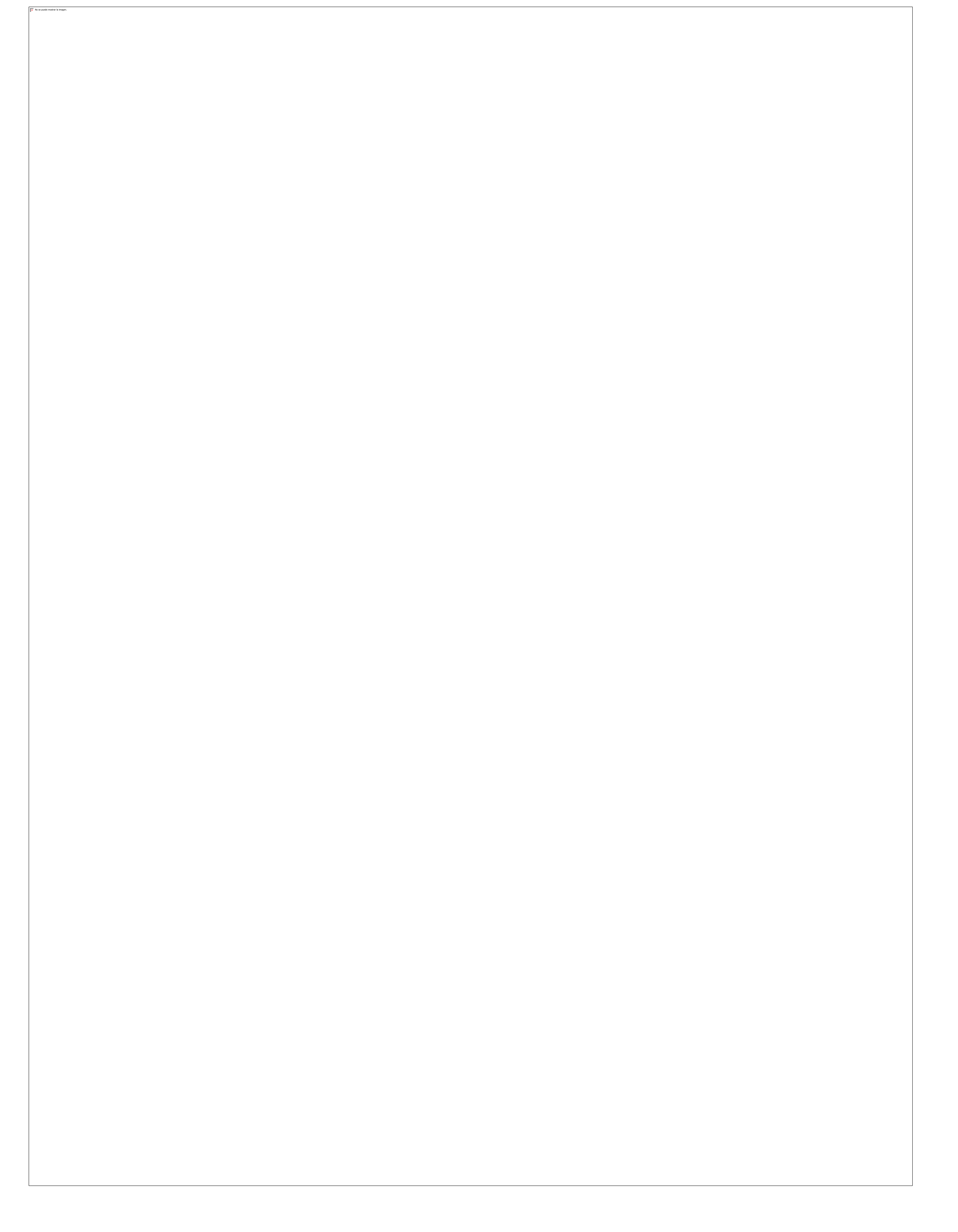

No se puede mostrar la imagen.

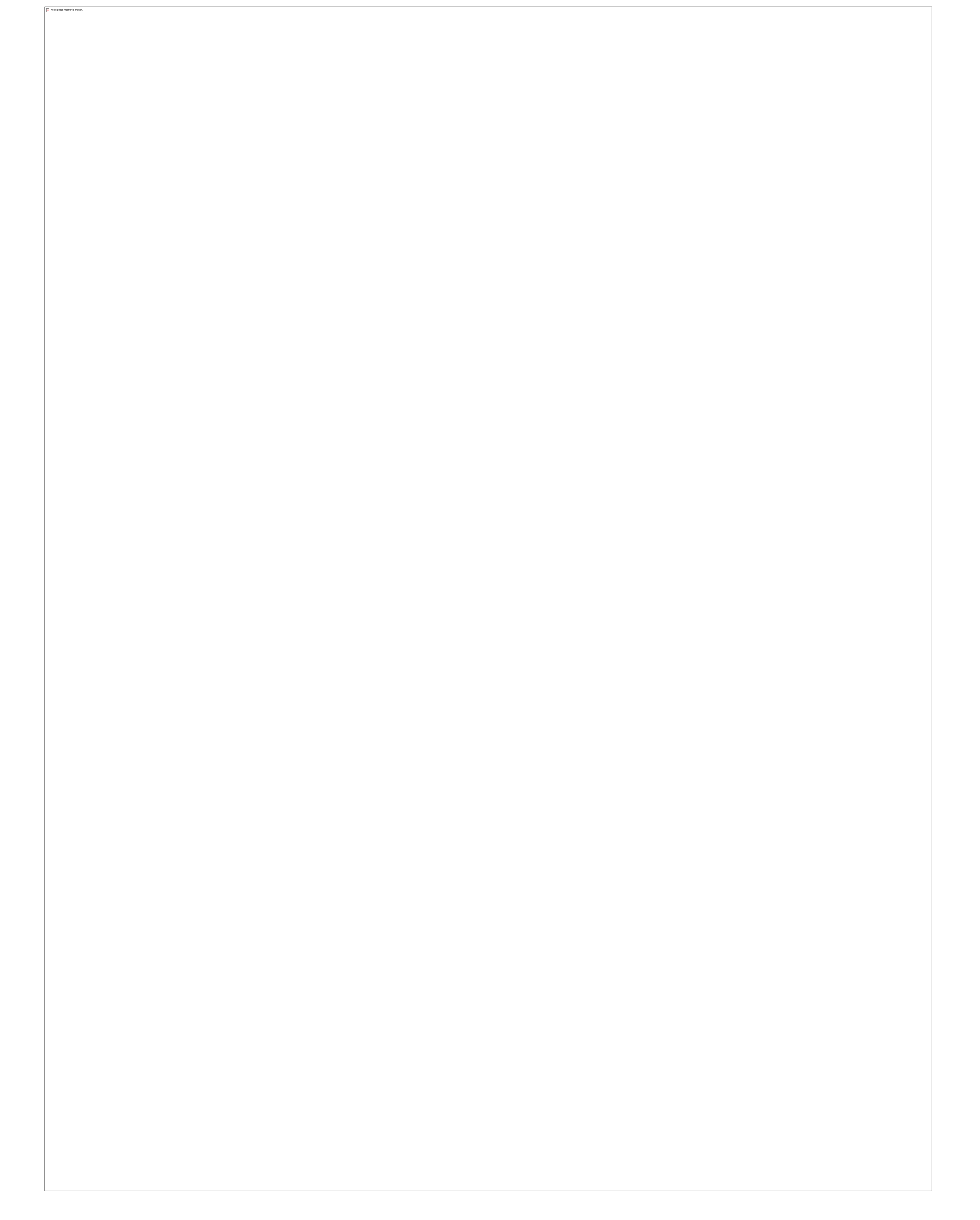

No se puede mostrar la imagen.

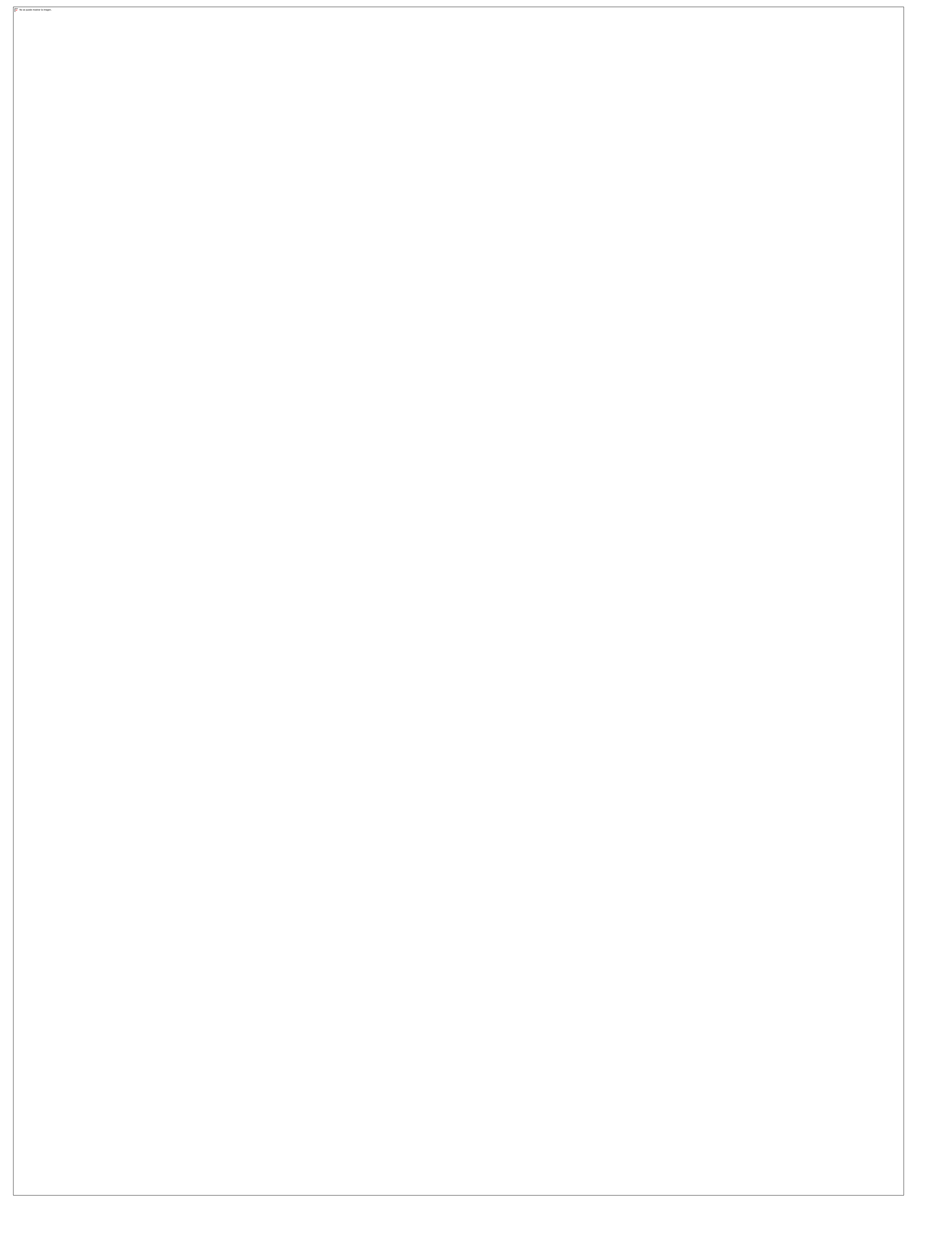

No se puede mostrar la imagen.

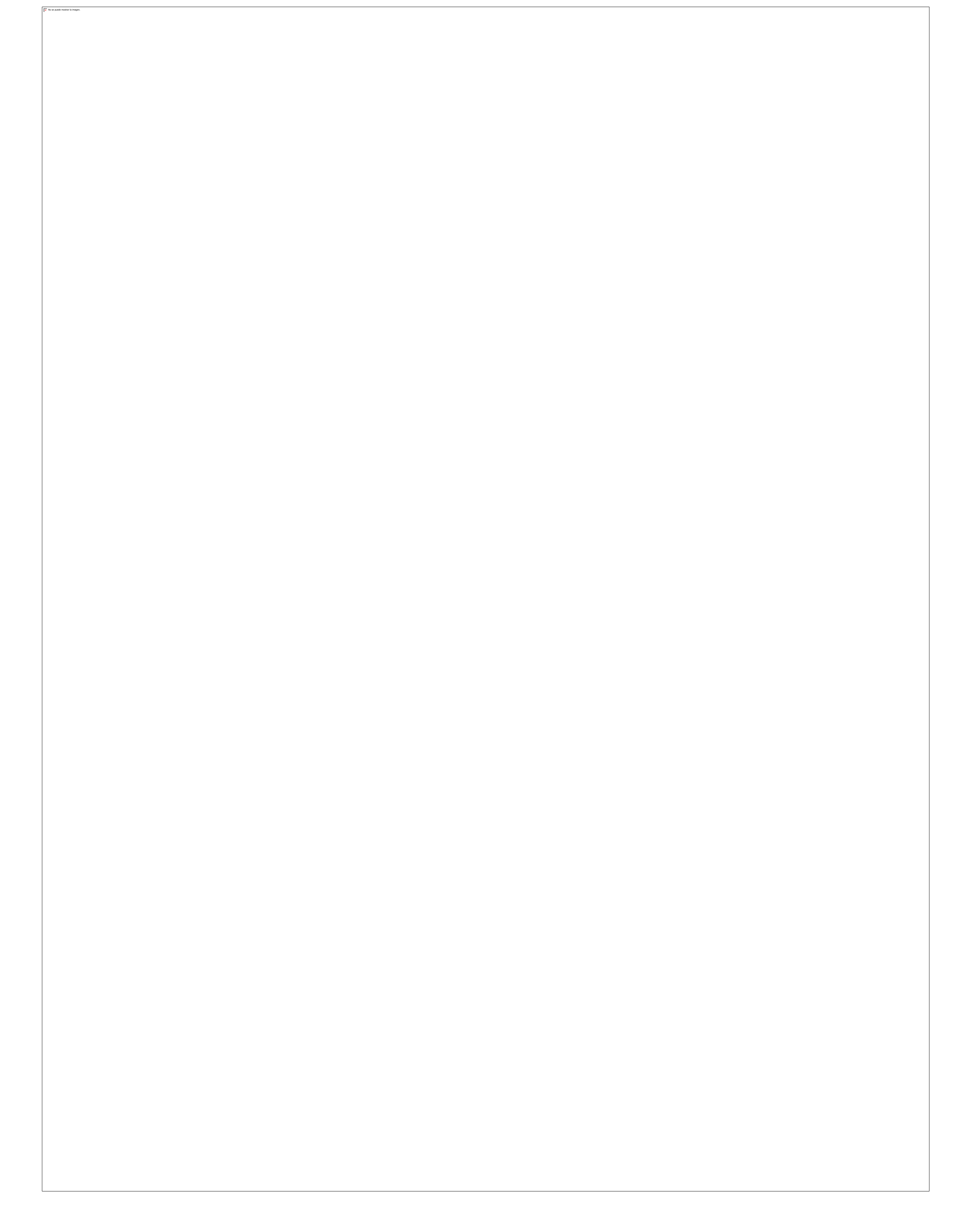

No se puede mostrar la imagen.

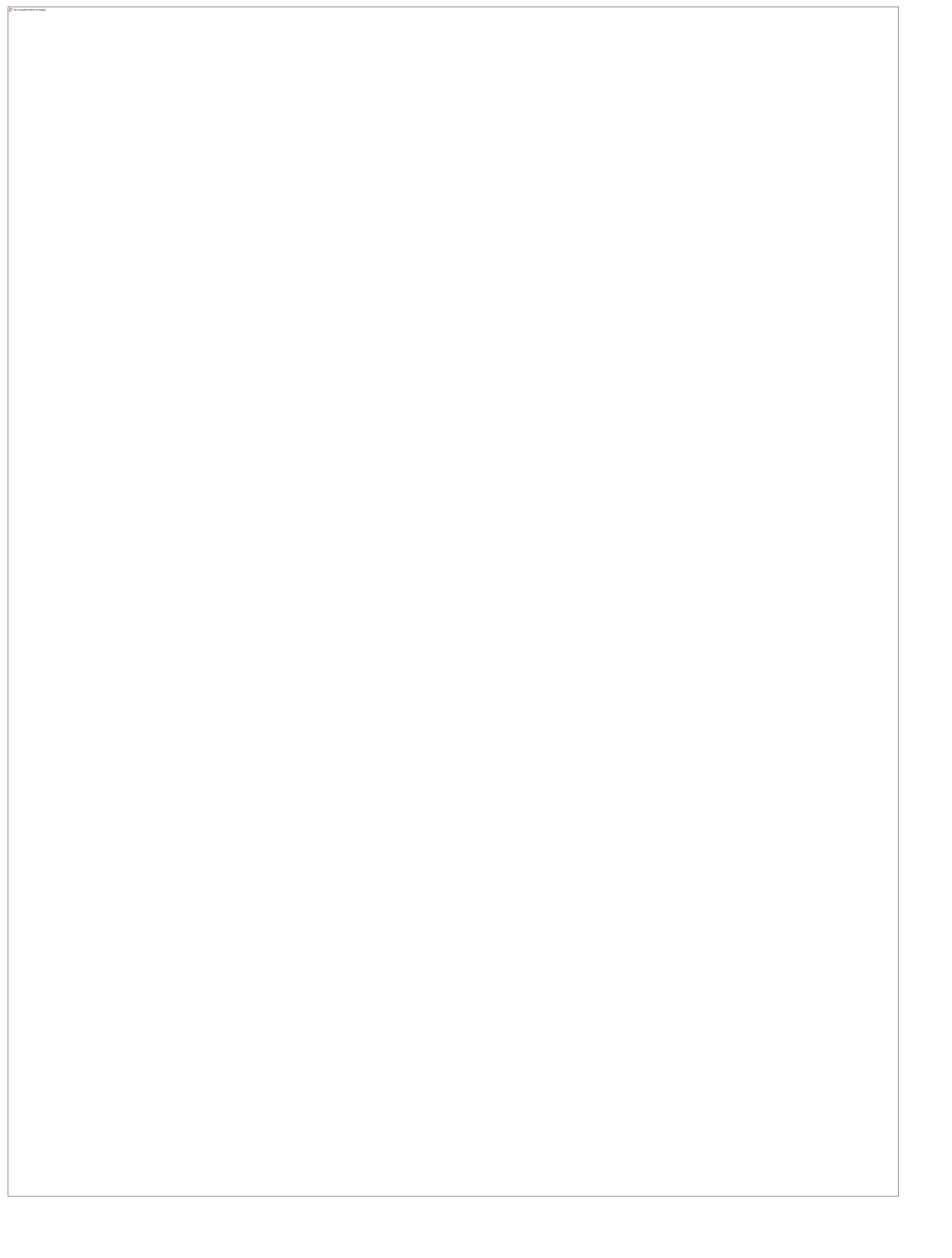

No se puede mostrar la imagen.

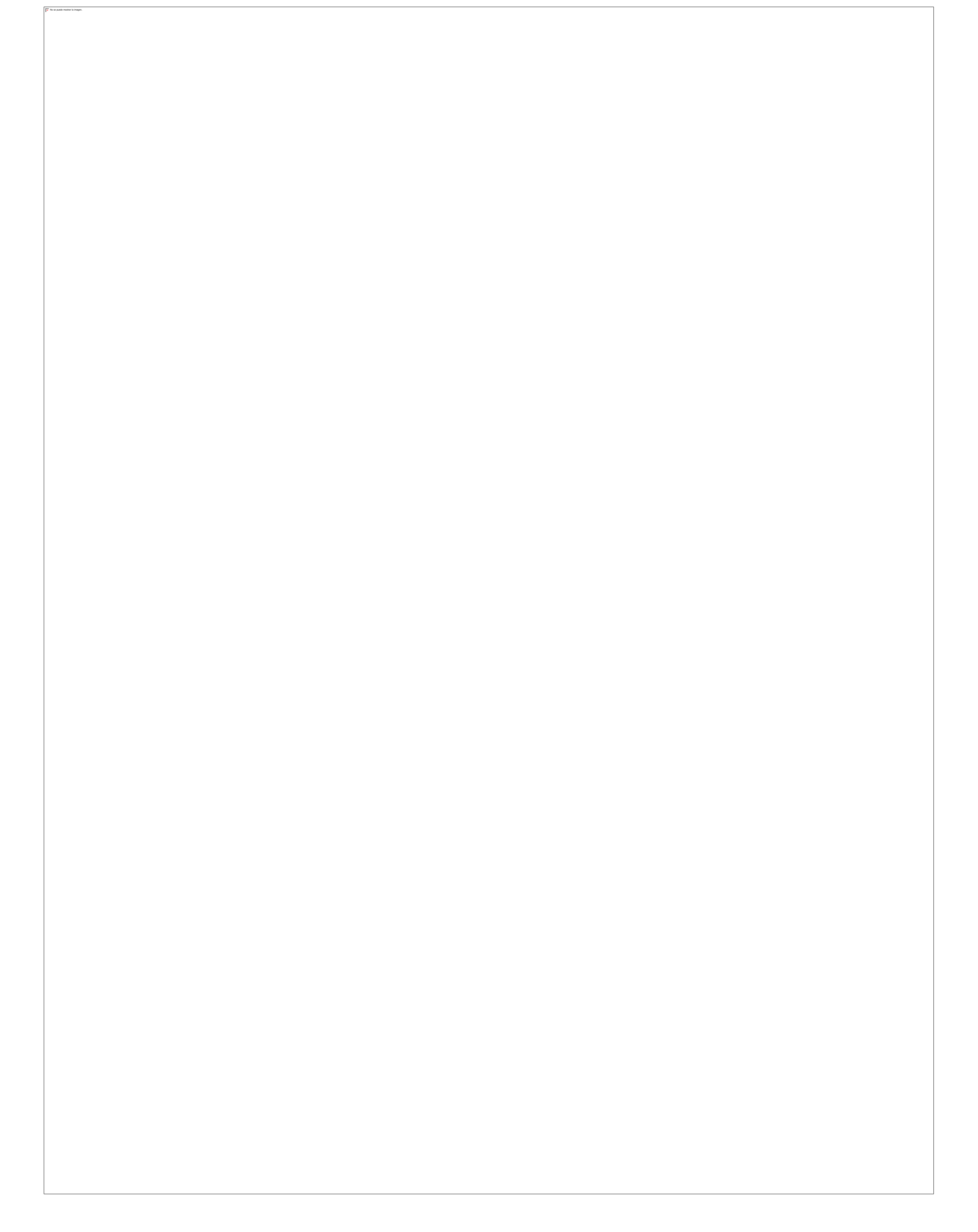

No se puede mostrar la imagen.

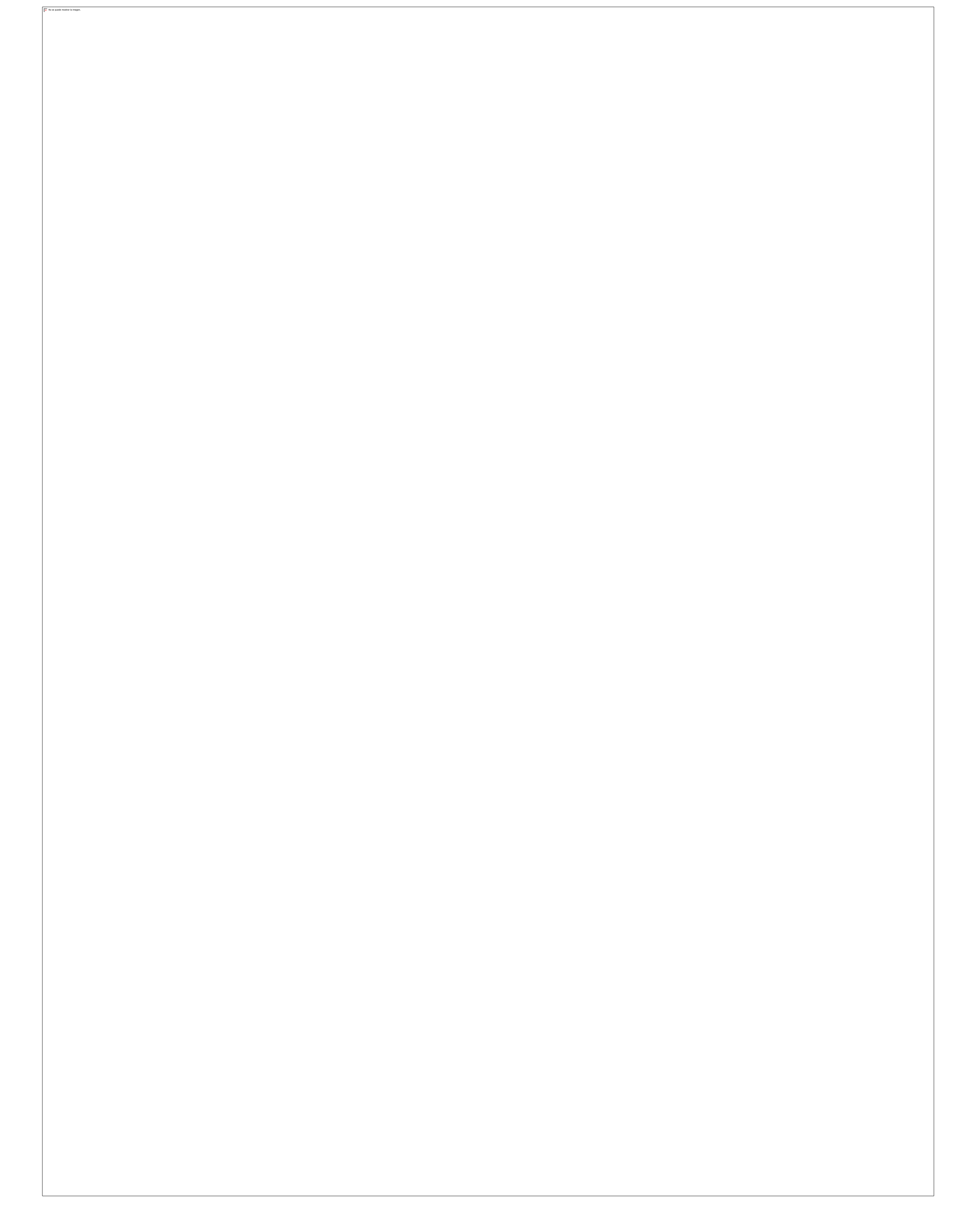

No se puede mostrar la imagen.

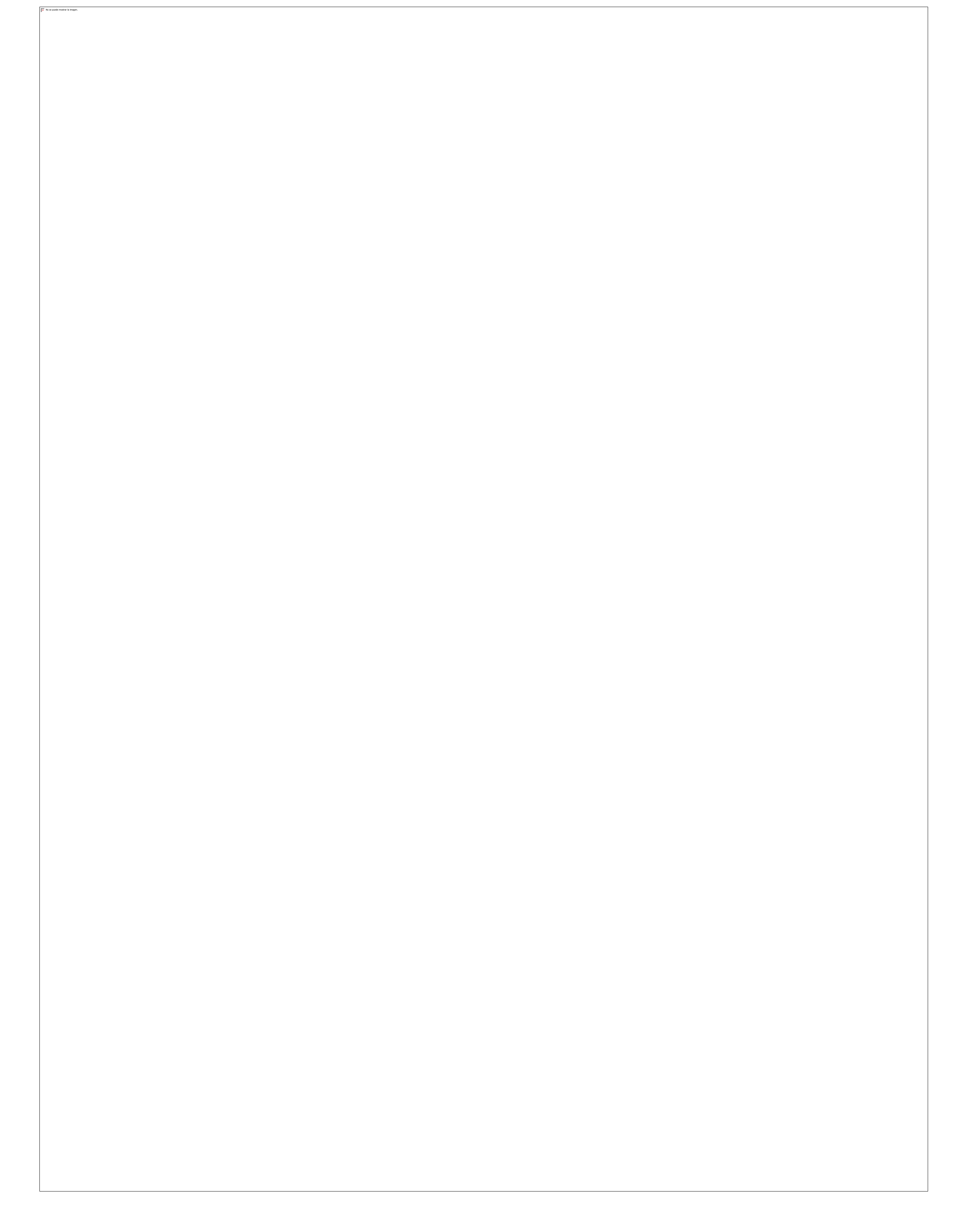

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

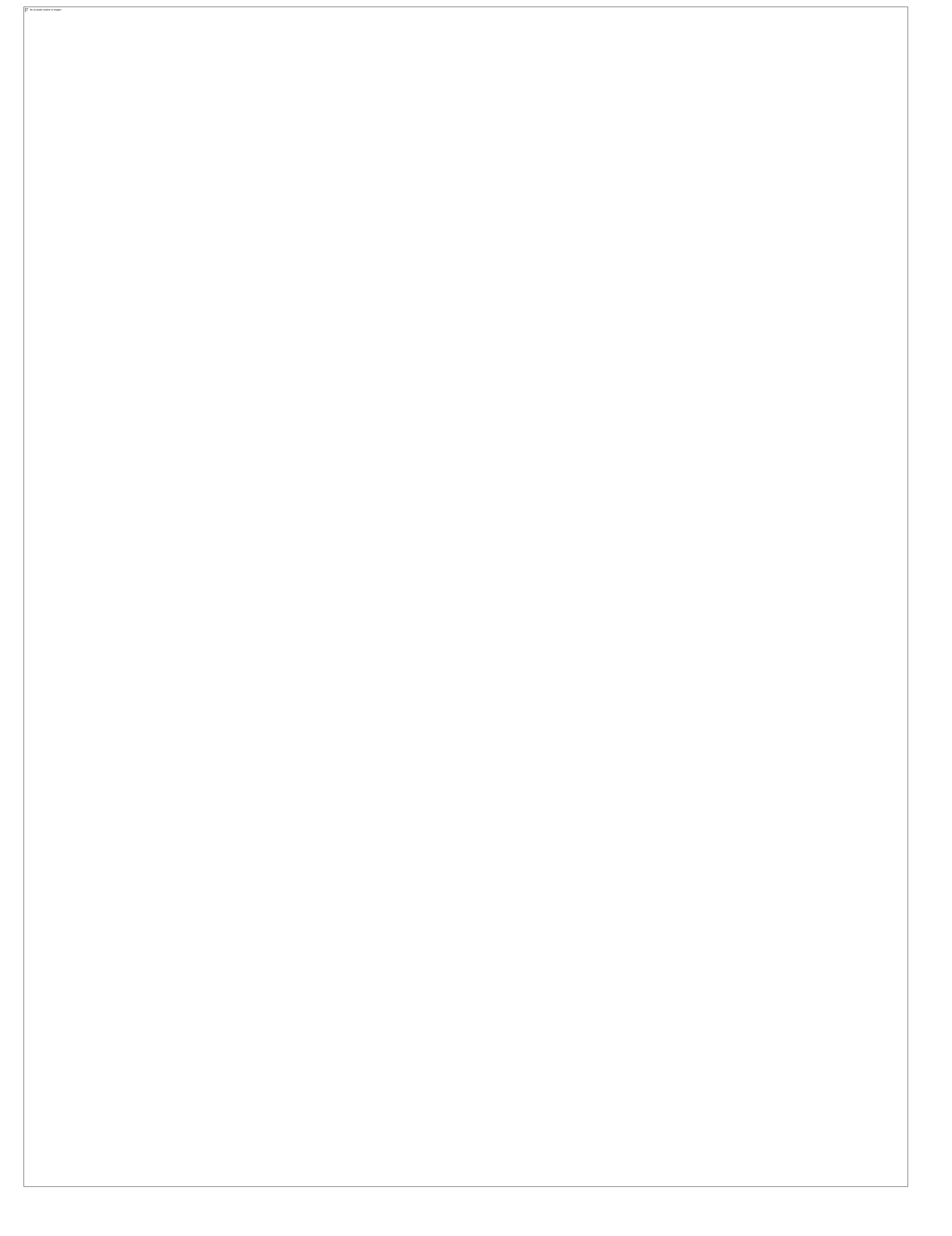

No se puede mostrar la imagen.

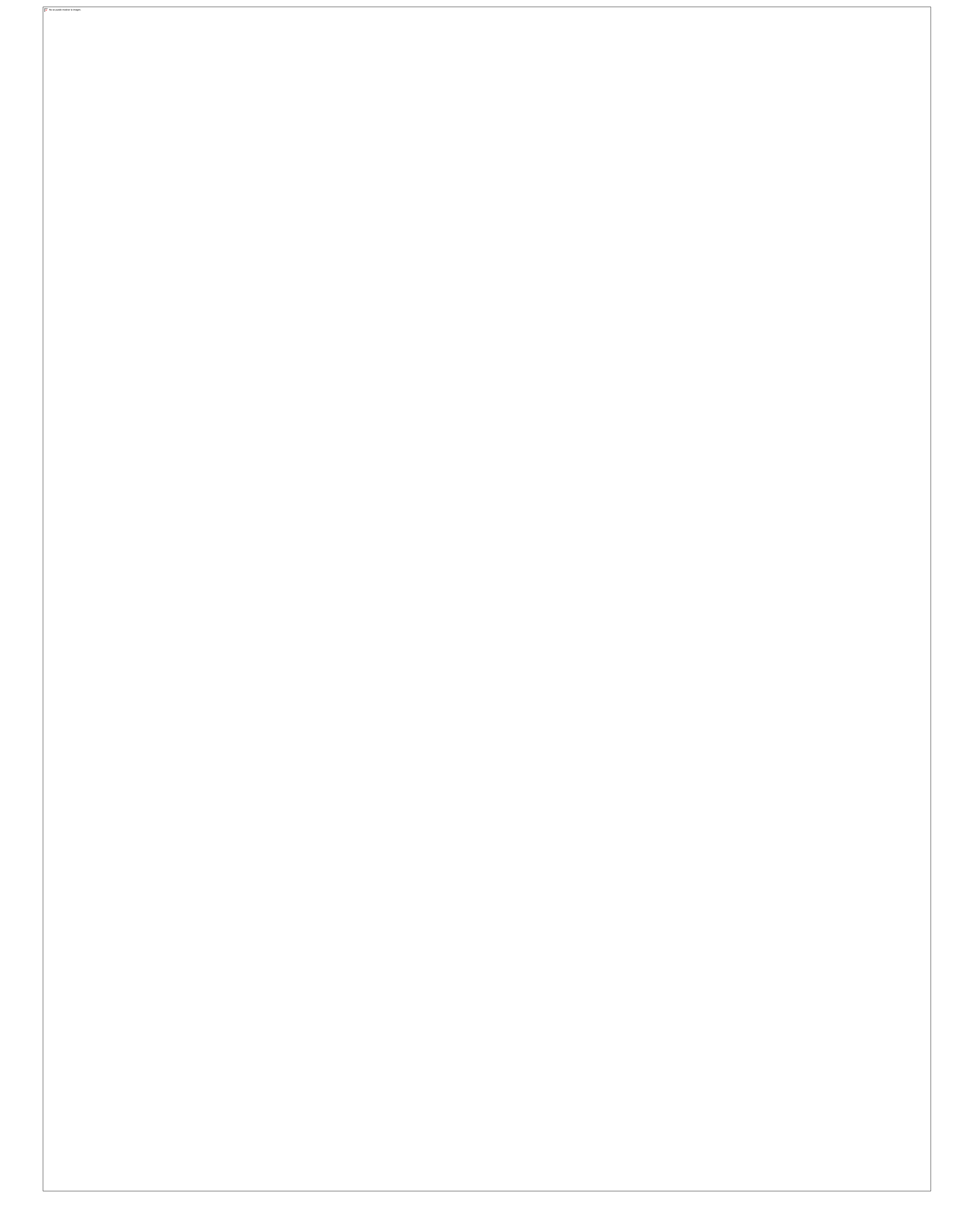

No se puede mostrar la imagen.

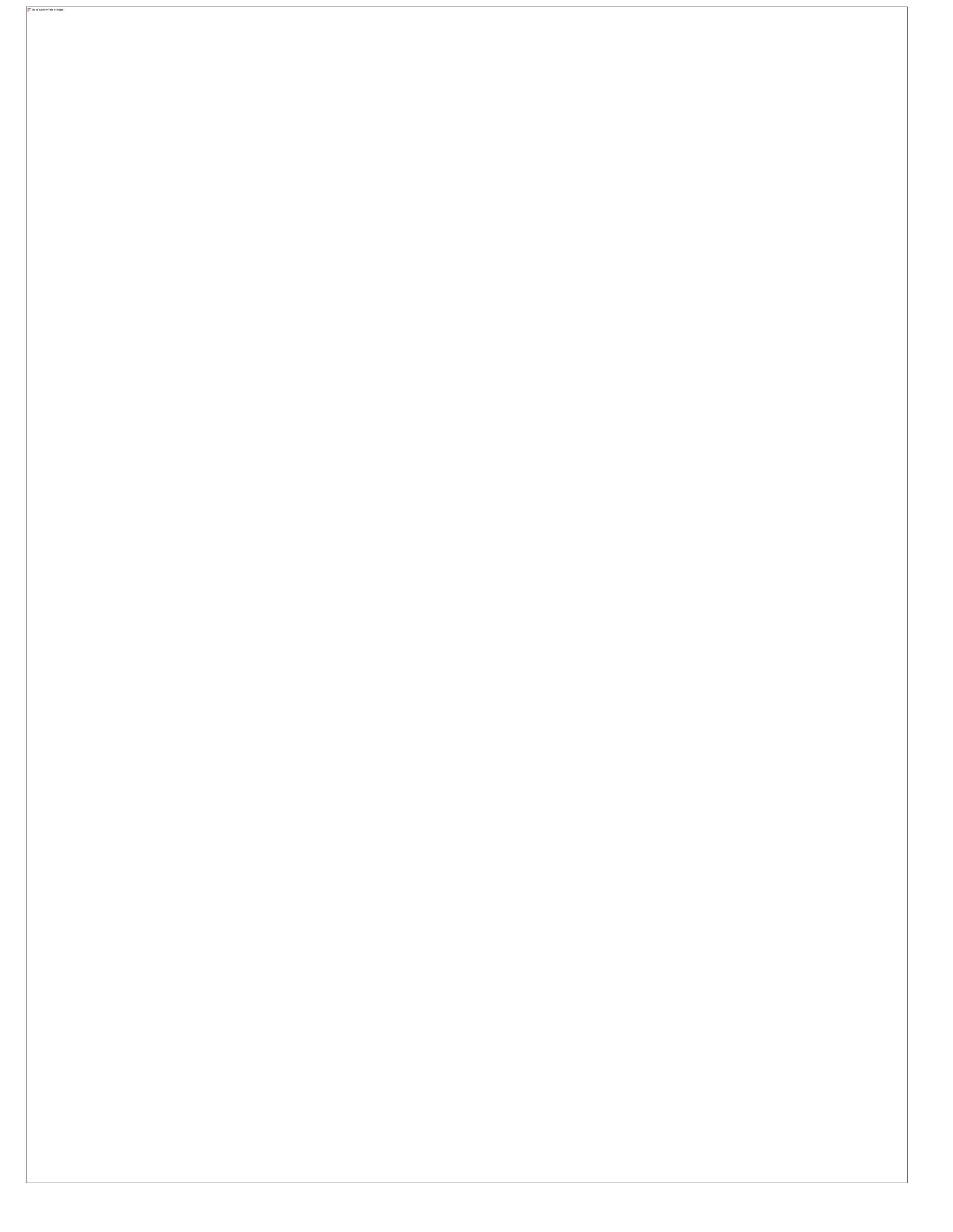

No se puede mostrar la imagen.

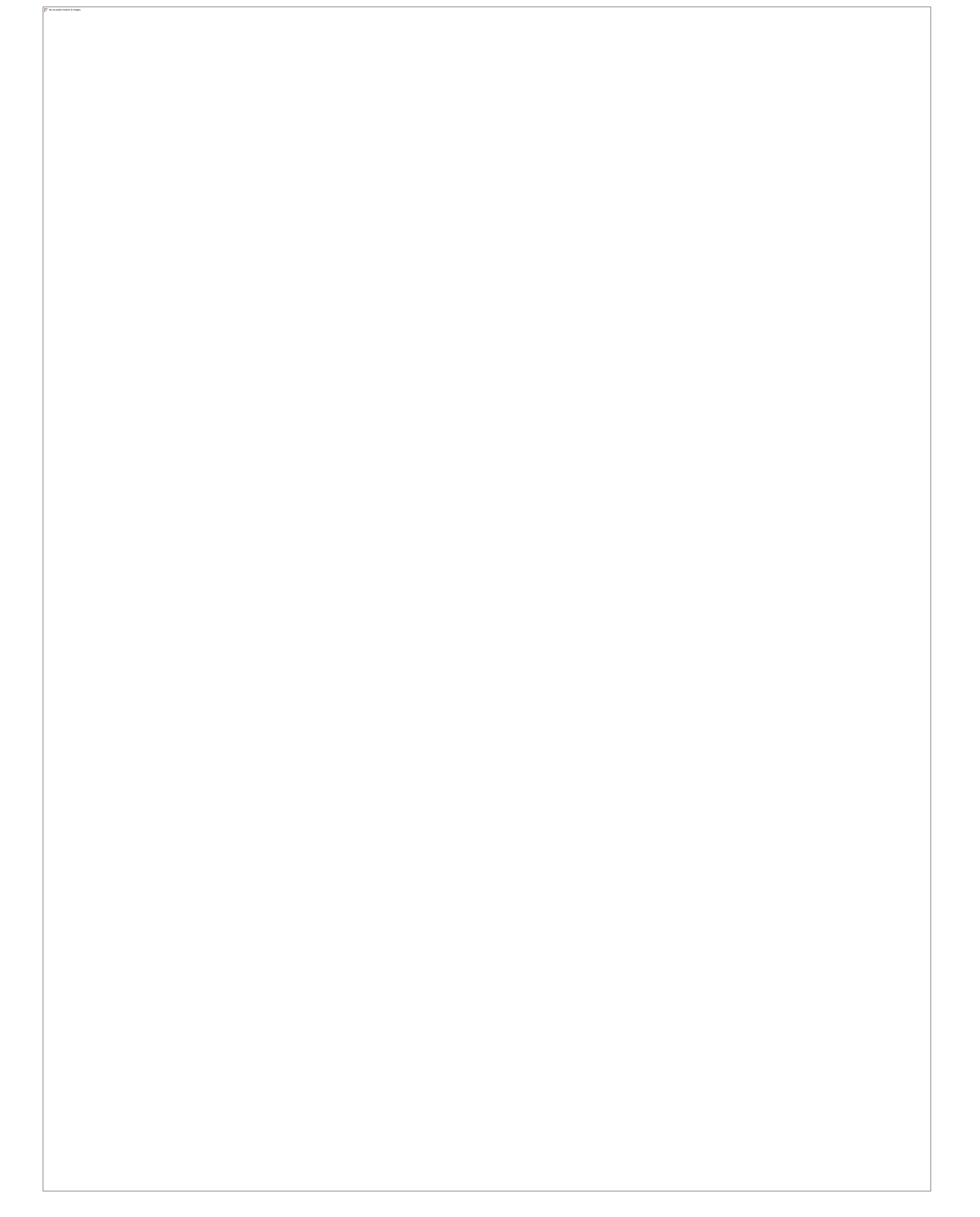

No se puede mostrar la imagen.

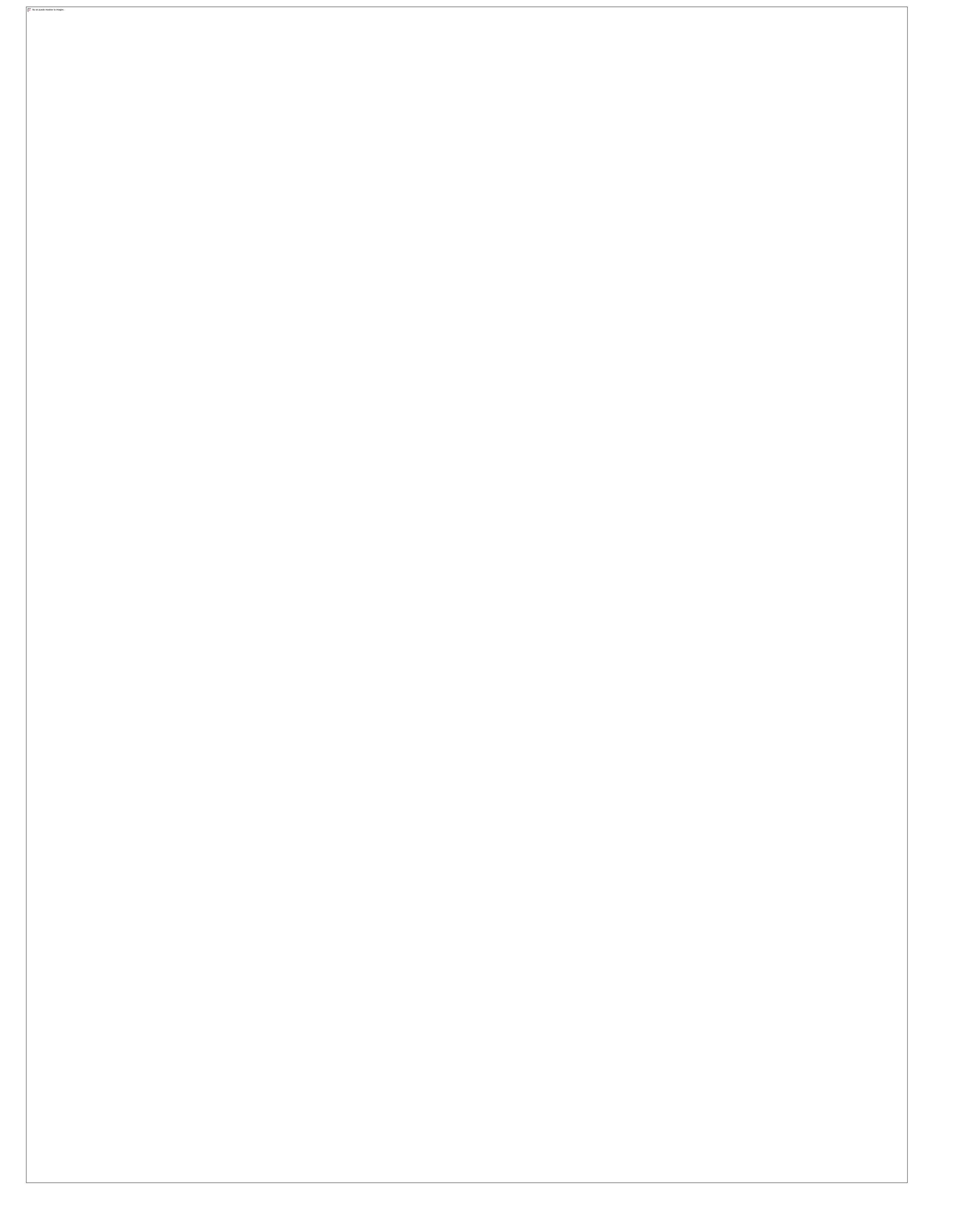
No se puede mostrar la imagen.

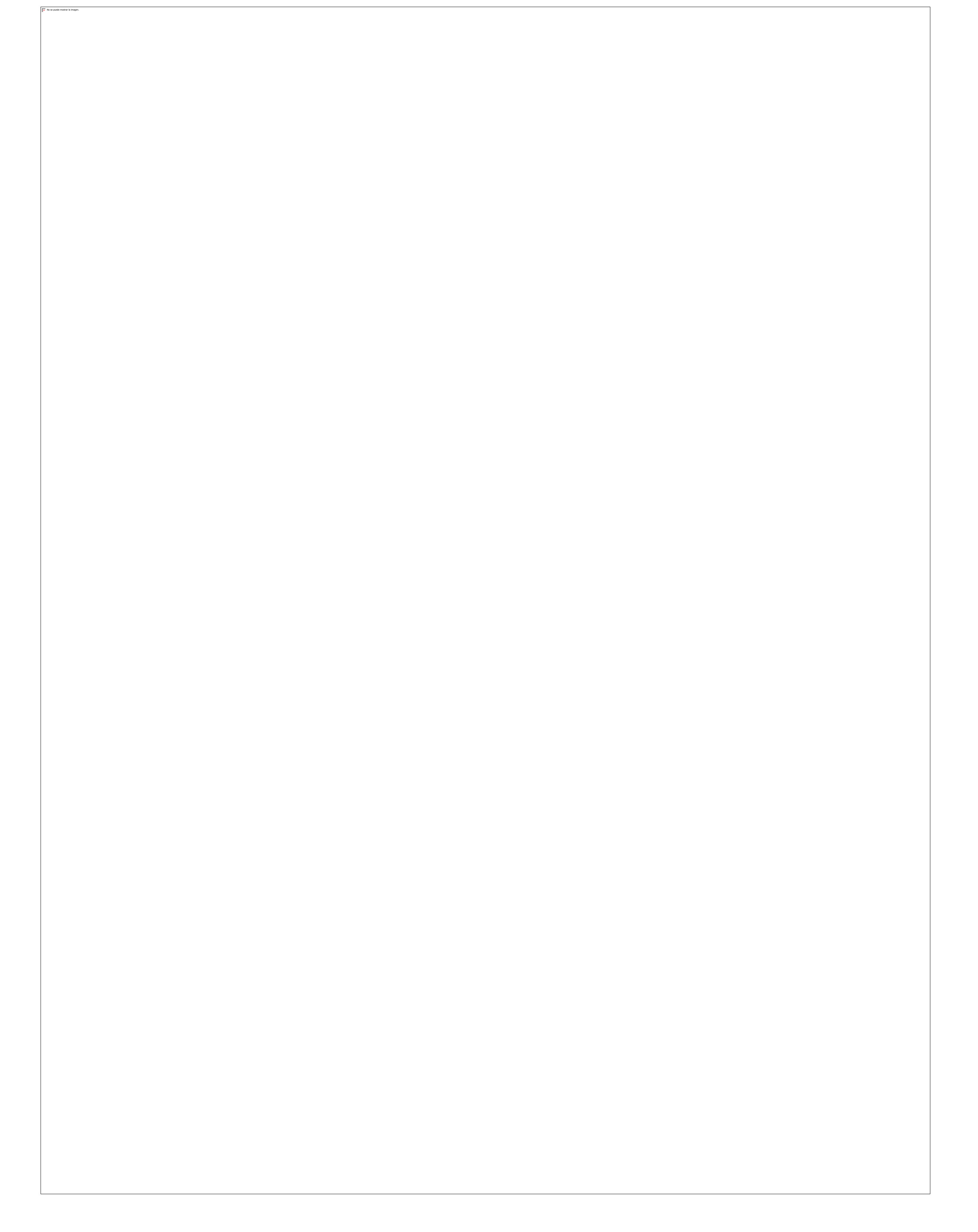

No se puede mostrar la imagen.

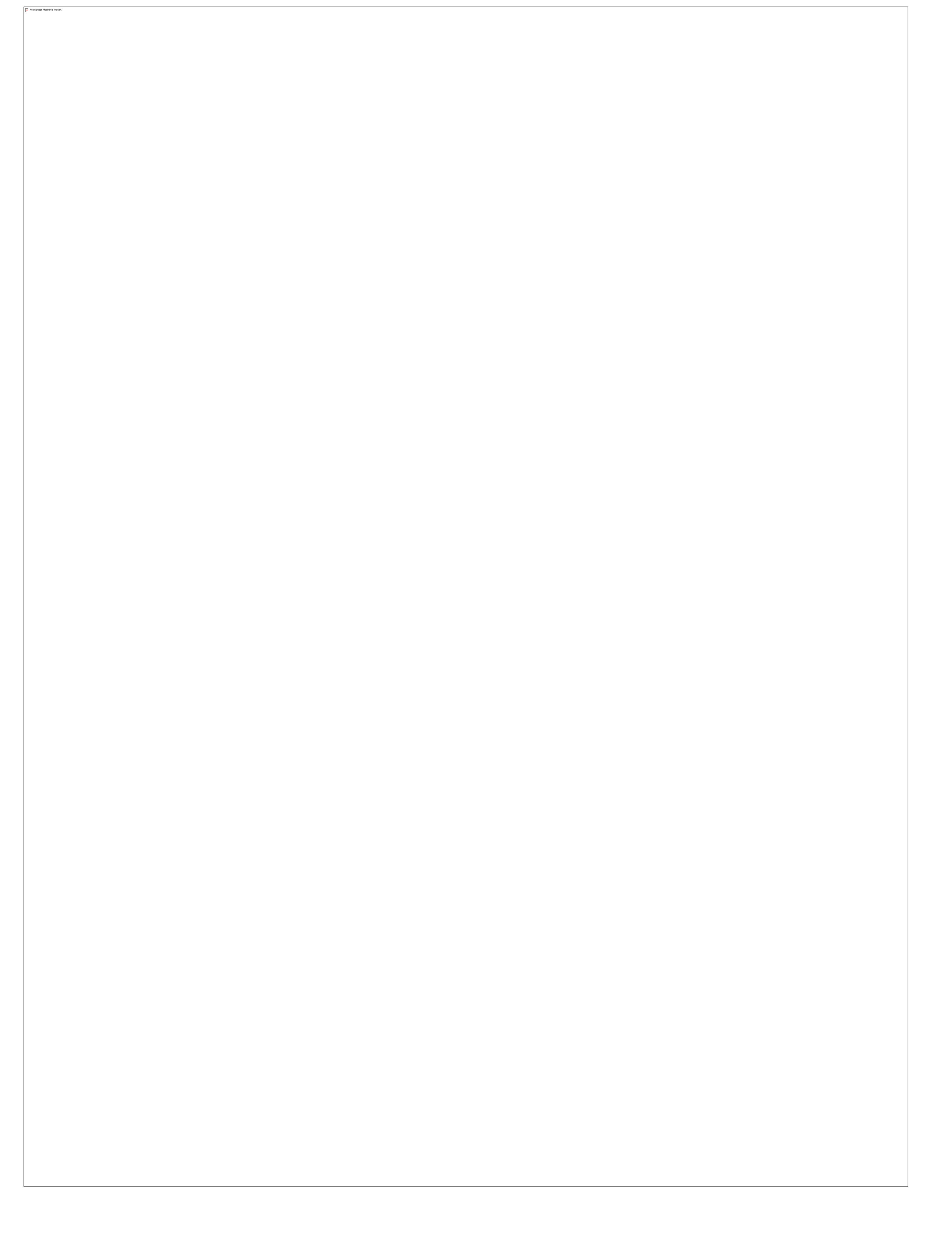

No se puede mostrar la imagen.

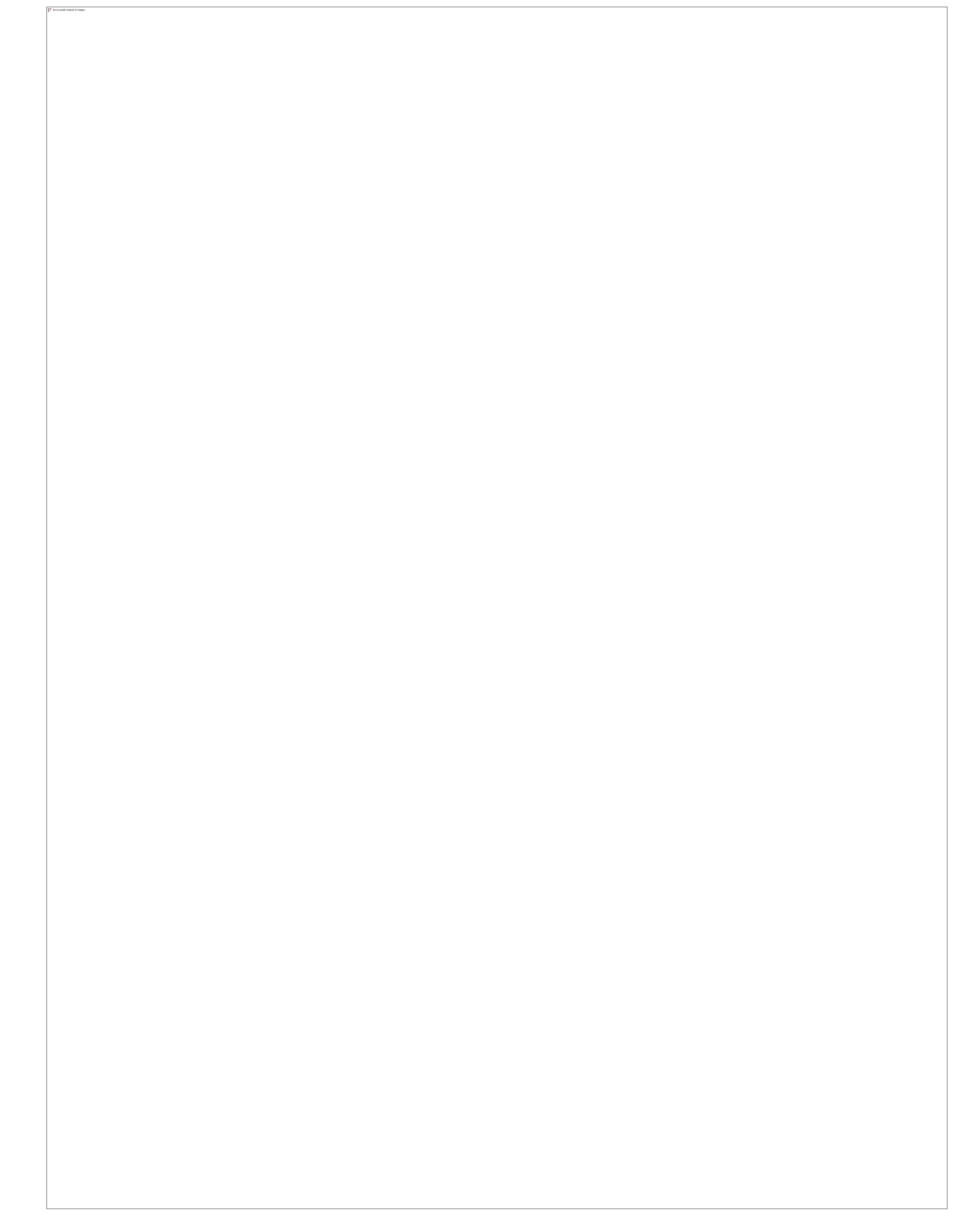

No se puede mostrar la imagen.

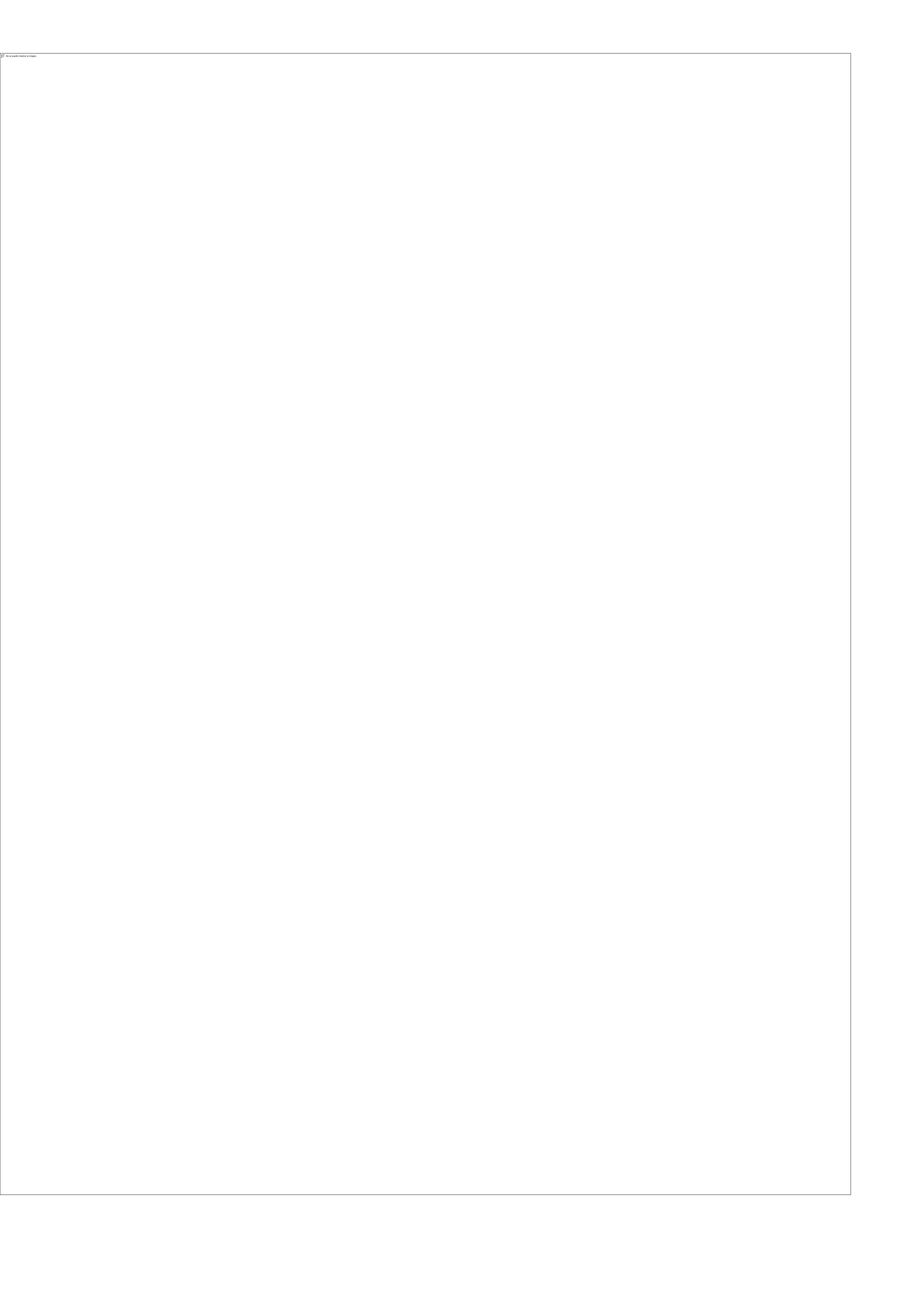

No se puede mostrar la imagen.

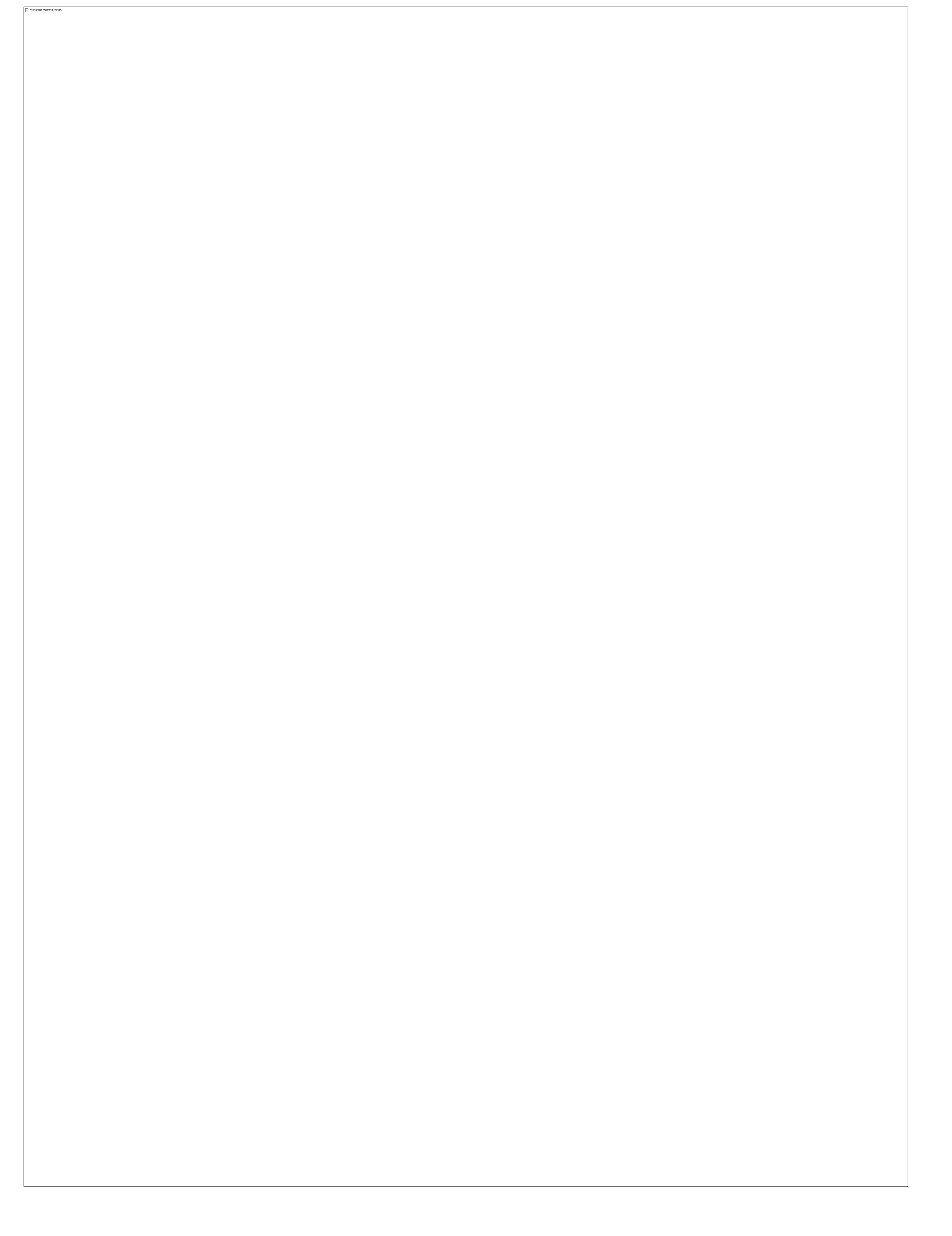

No se puede mostrar la imagen.

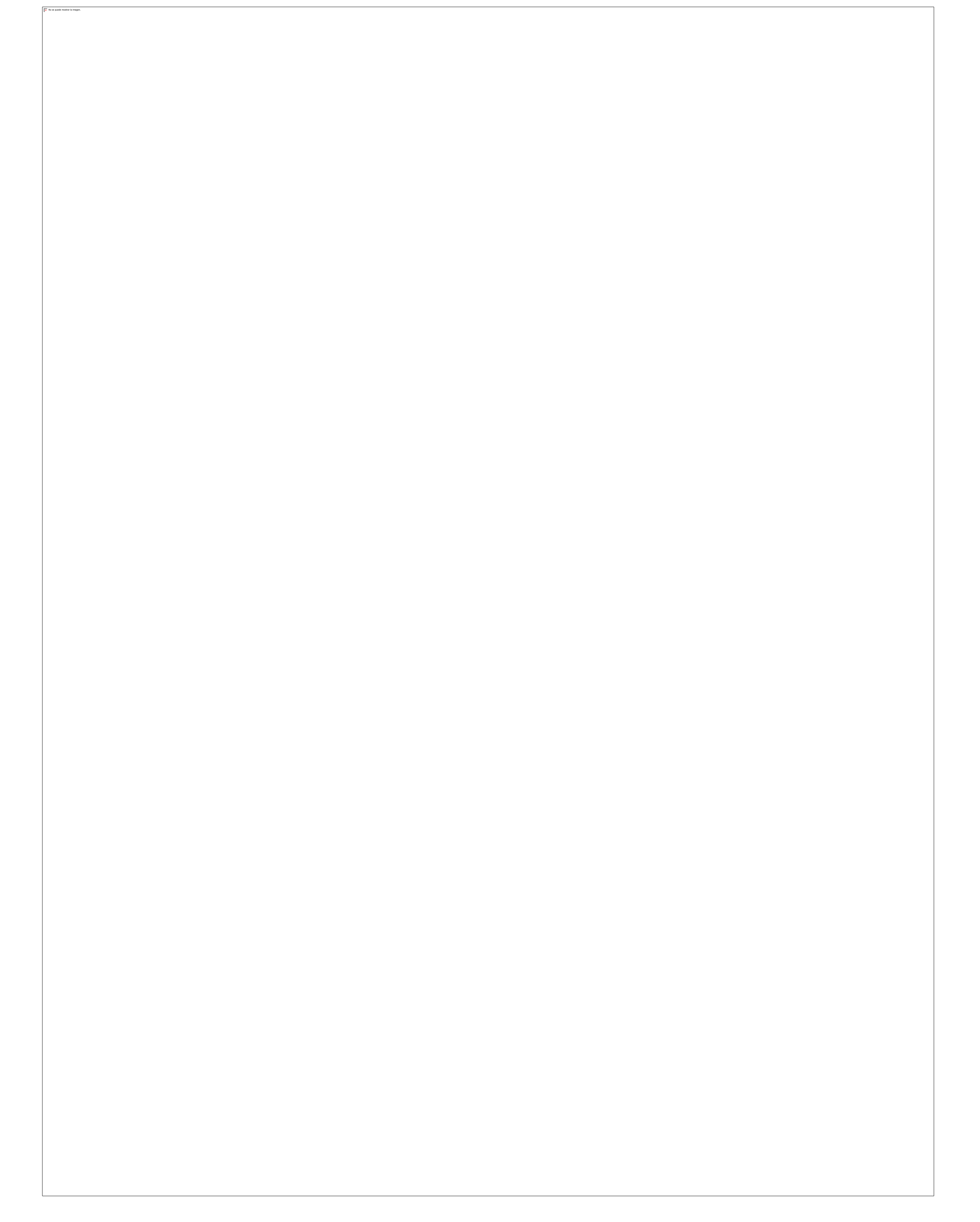

No se puede mostrar la imagen.

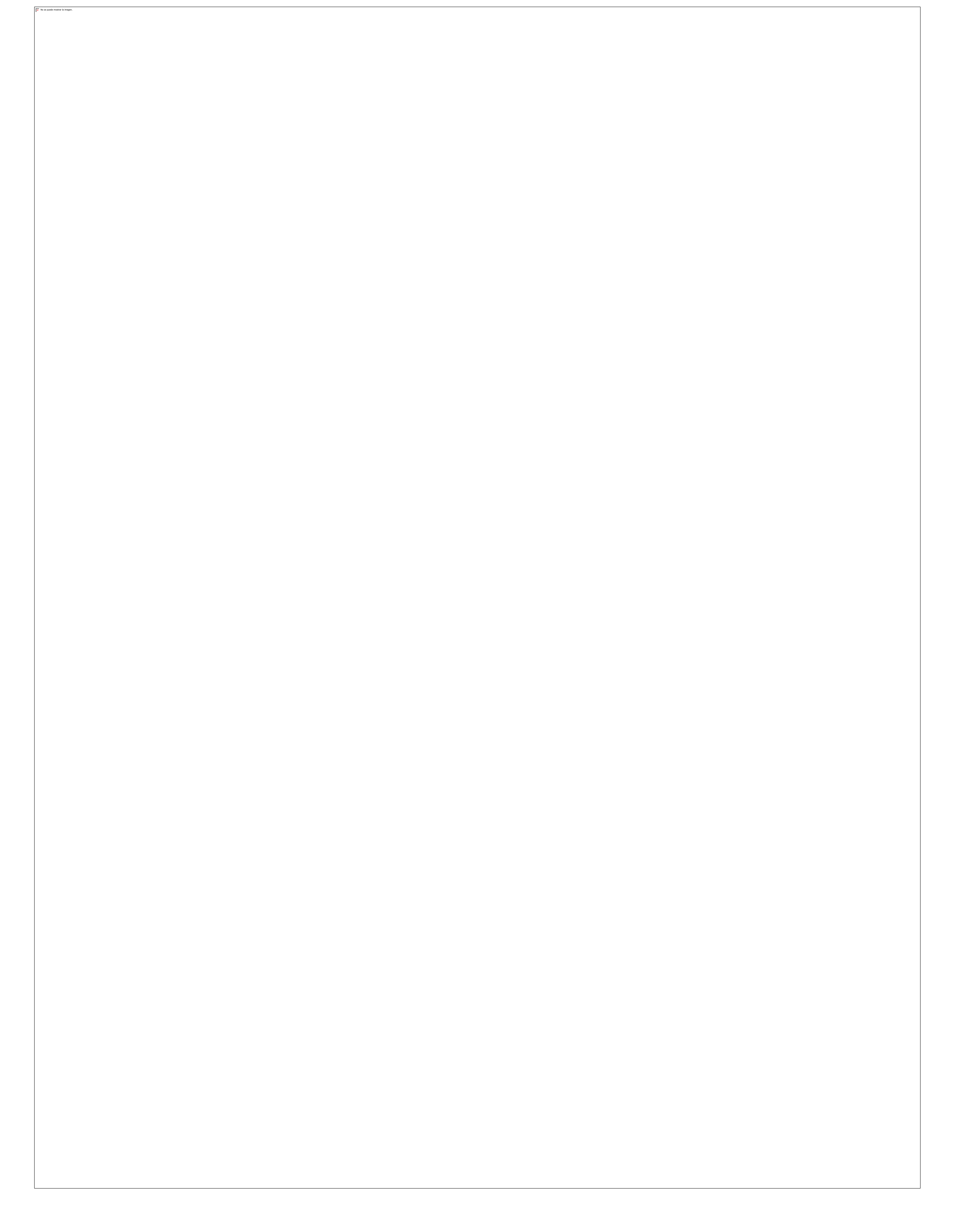

No se puede mostrar la imagen.

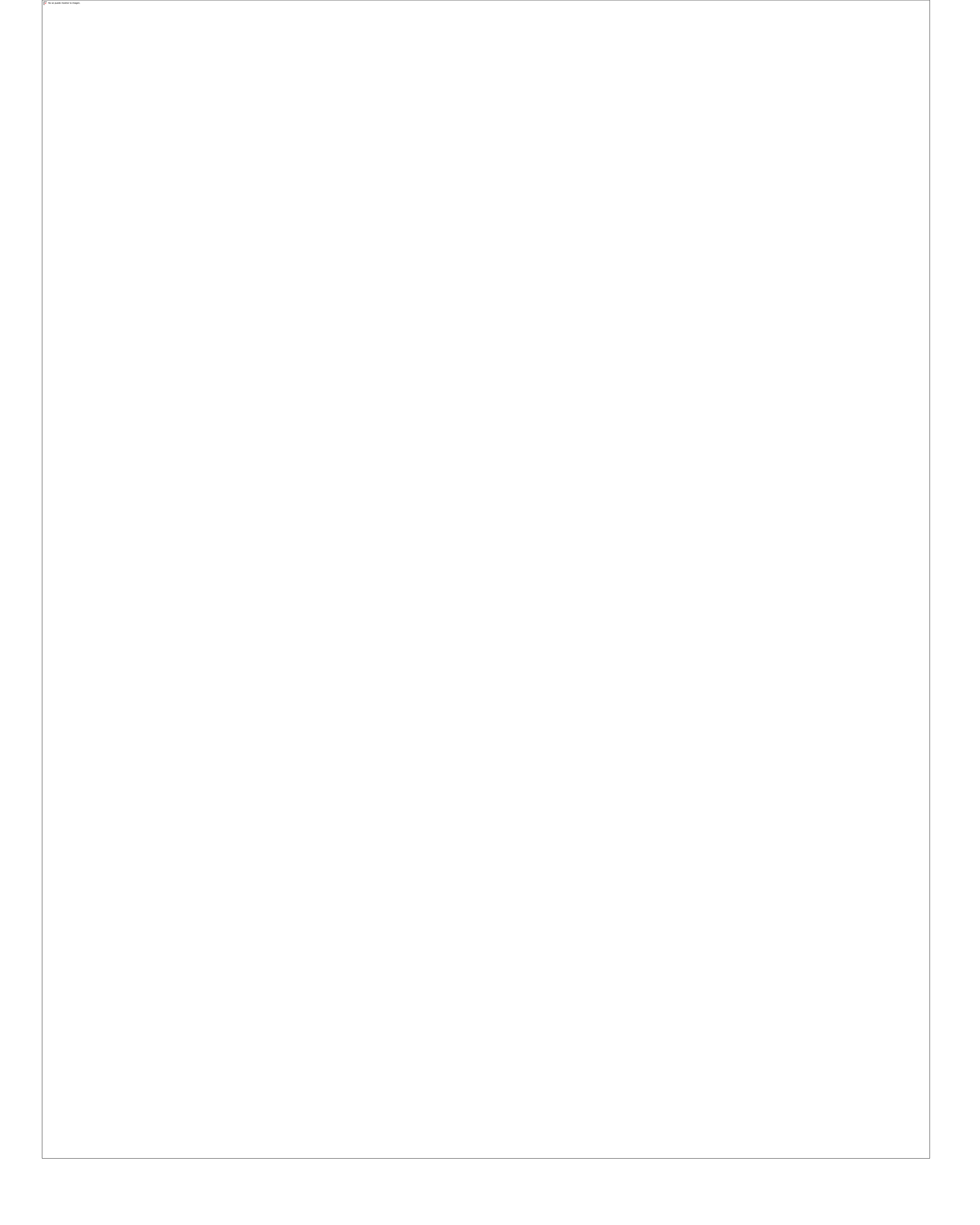

No se puede mostrar la imagen.

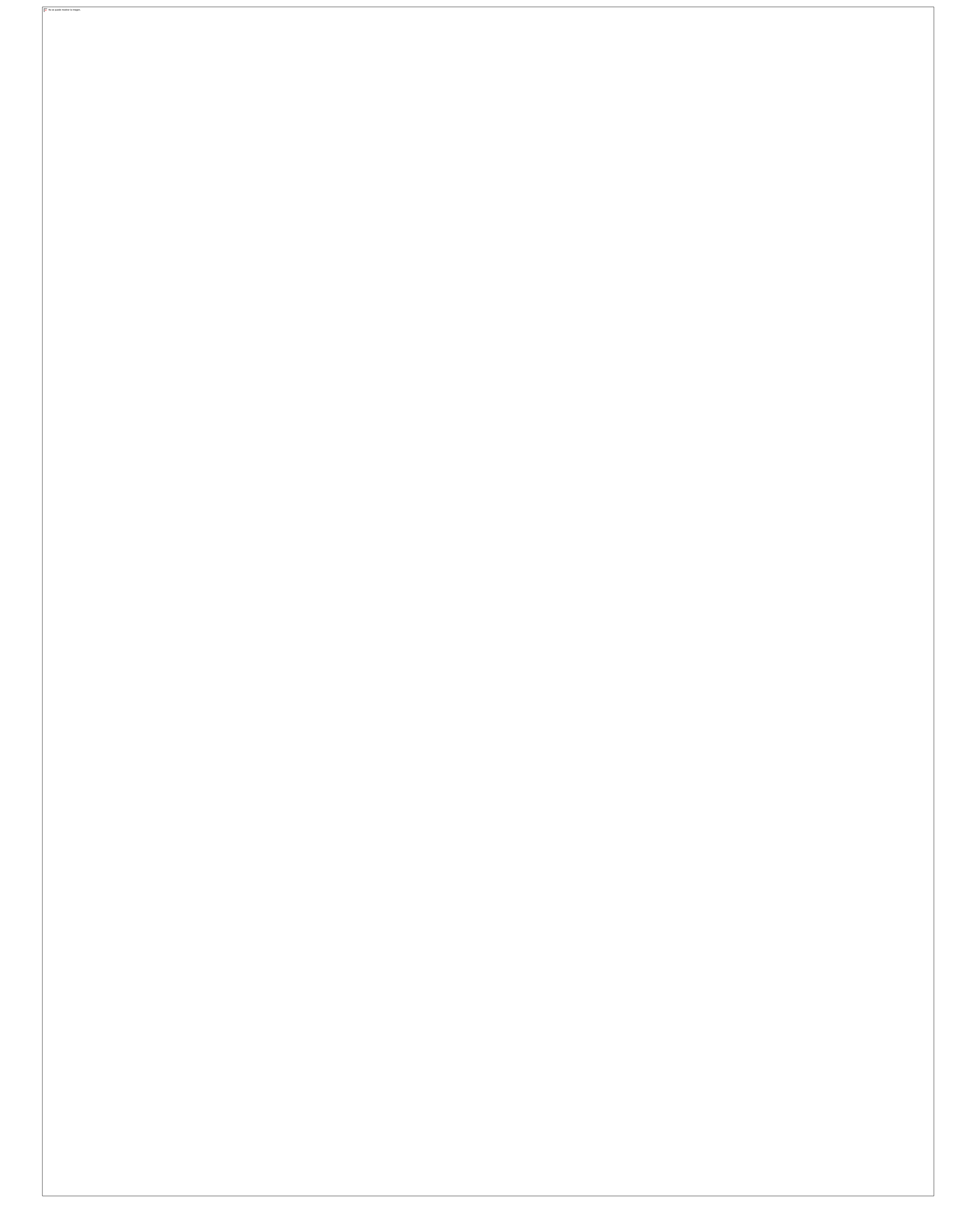

No se puede mostrar la imagen.

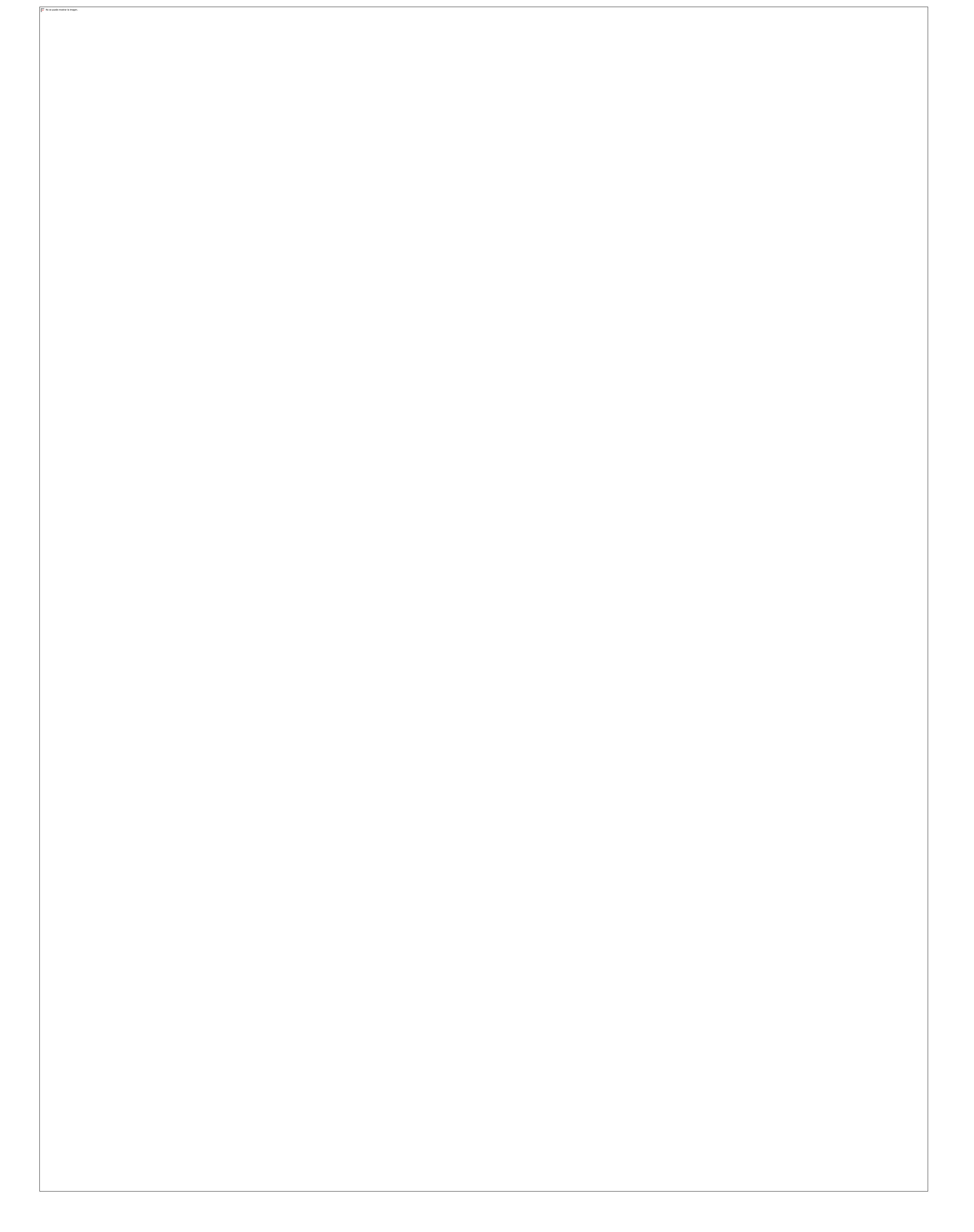

No se puede mostrar la imagen.

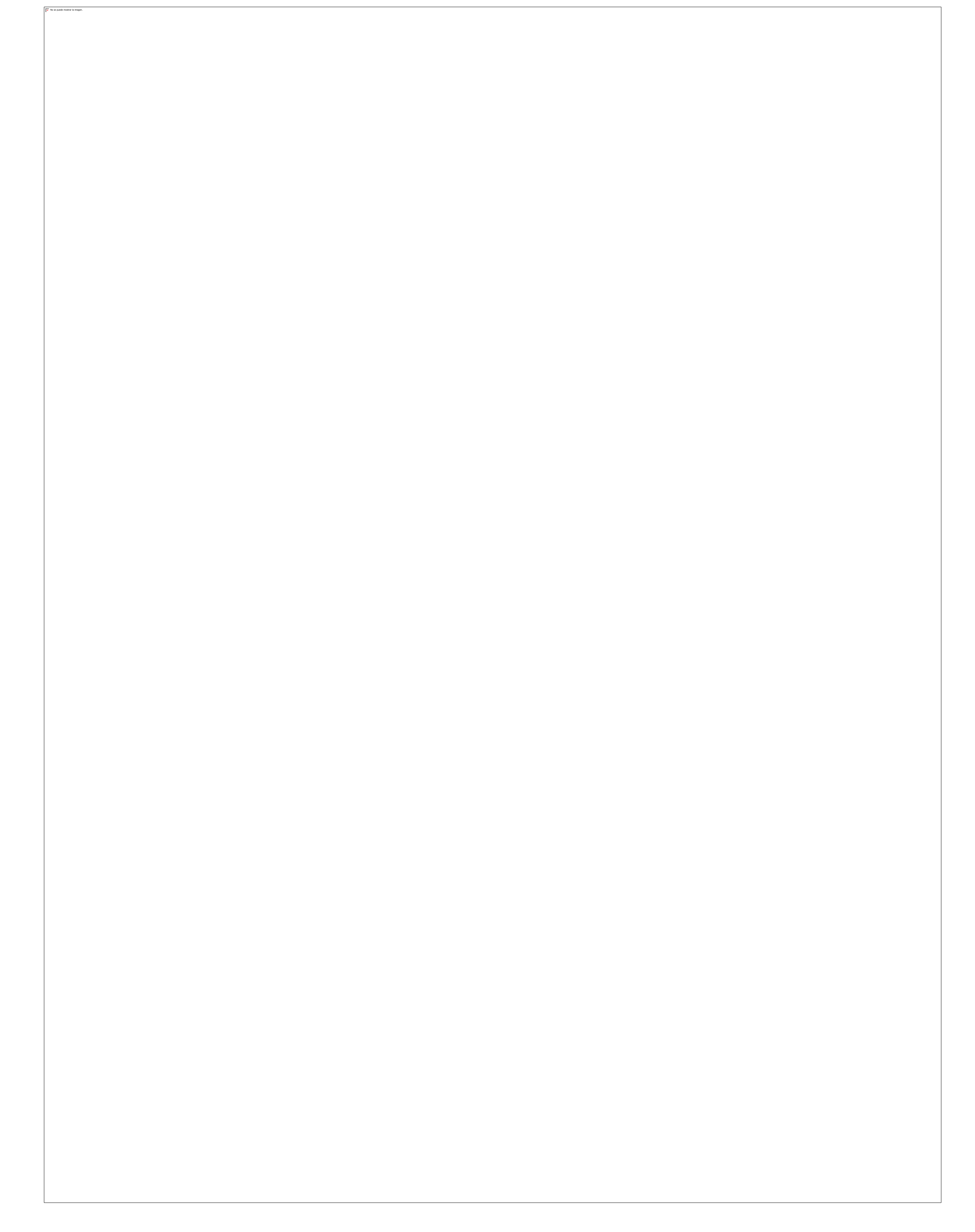

No se puede mostrar la imagen.

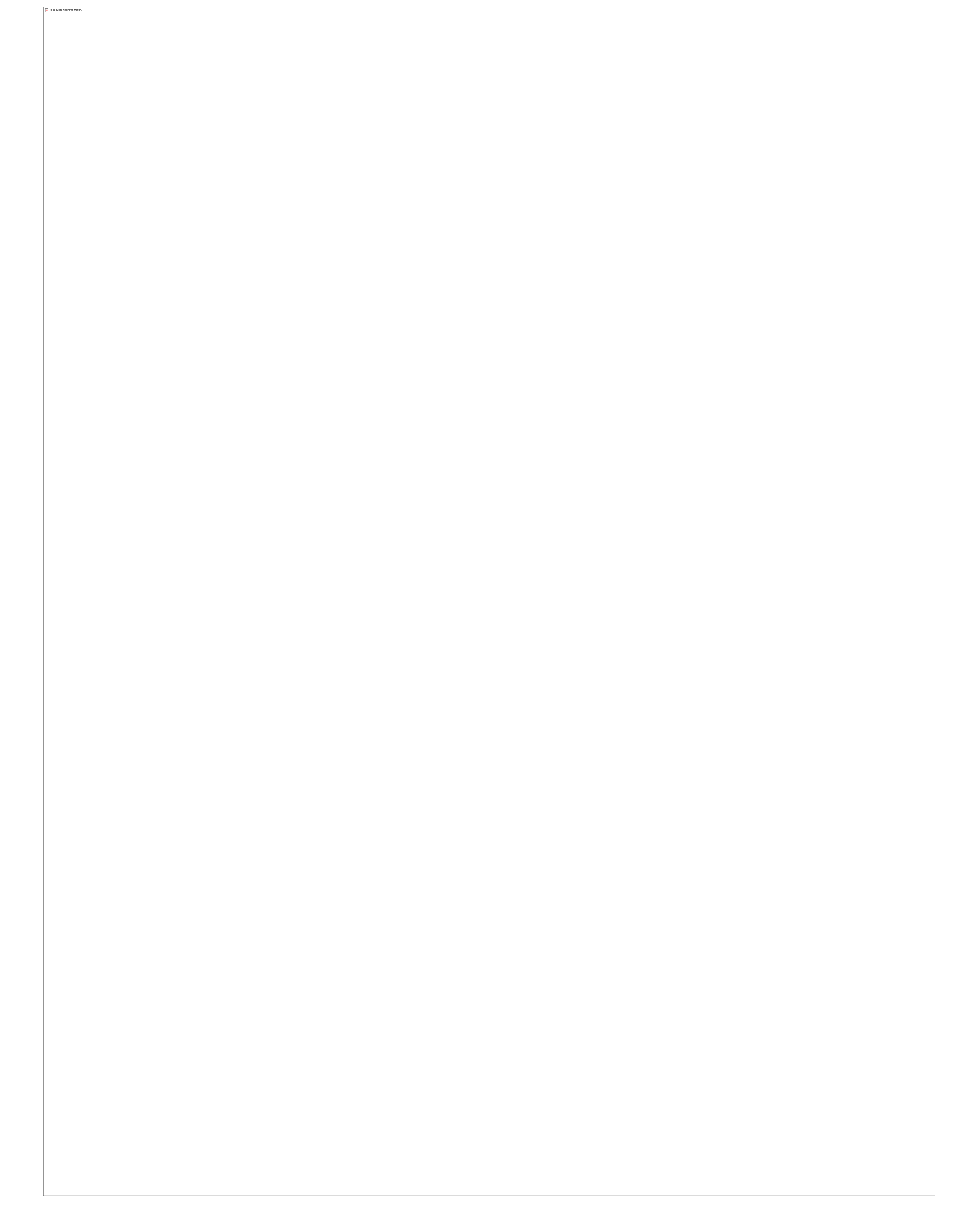

No se puede mostrar la imagen.

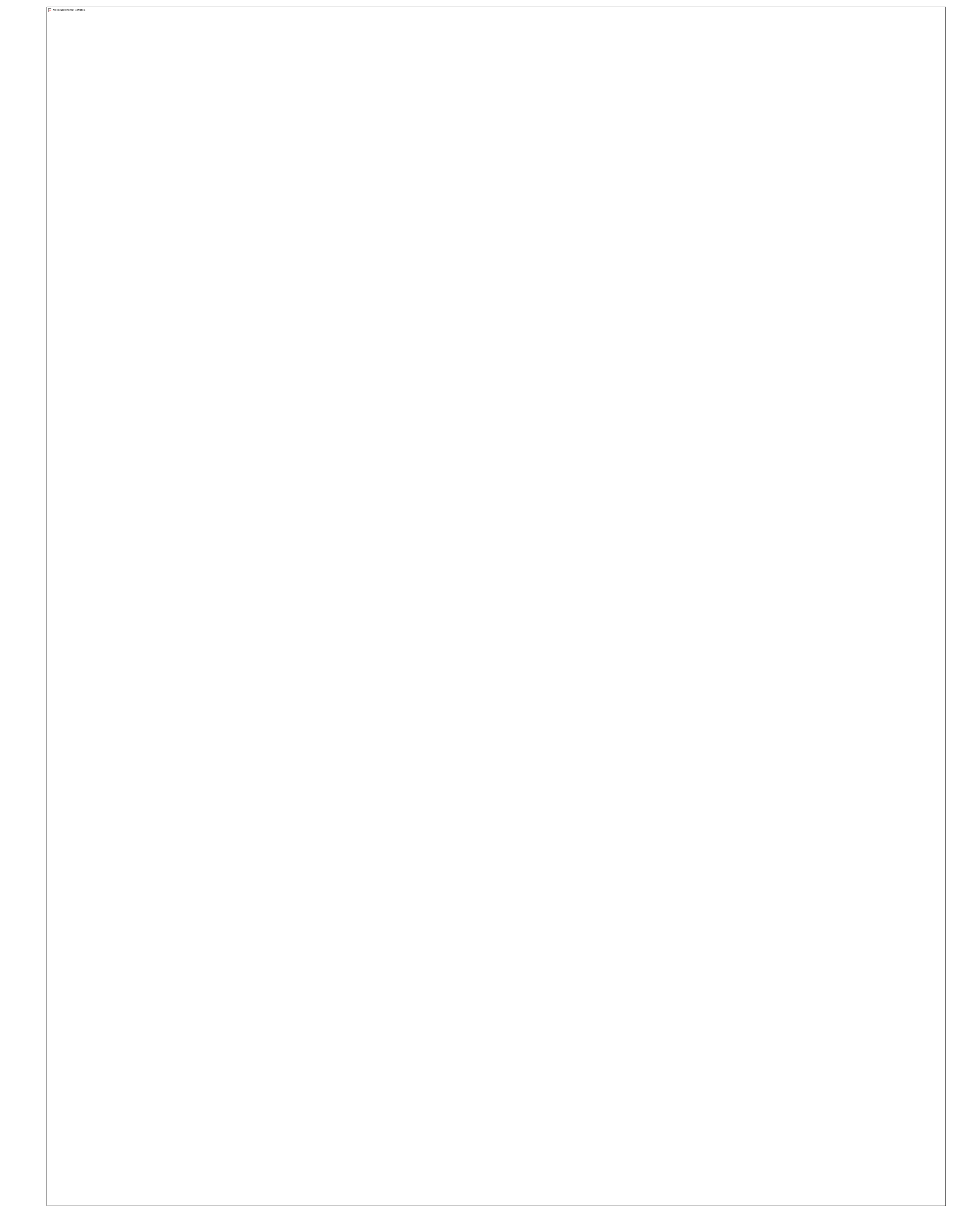

No se puede mostrar la imagen.

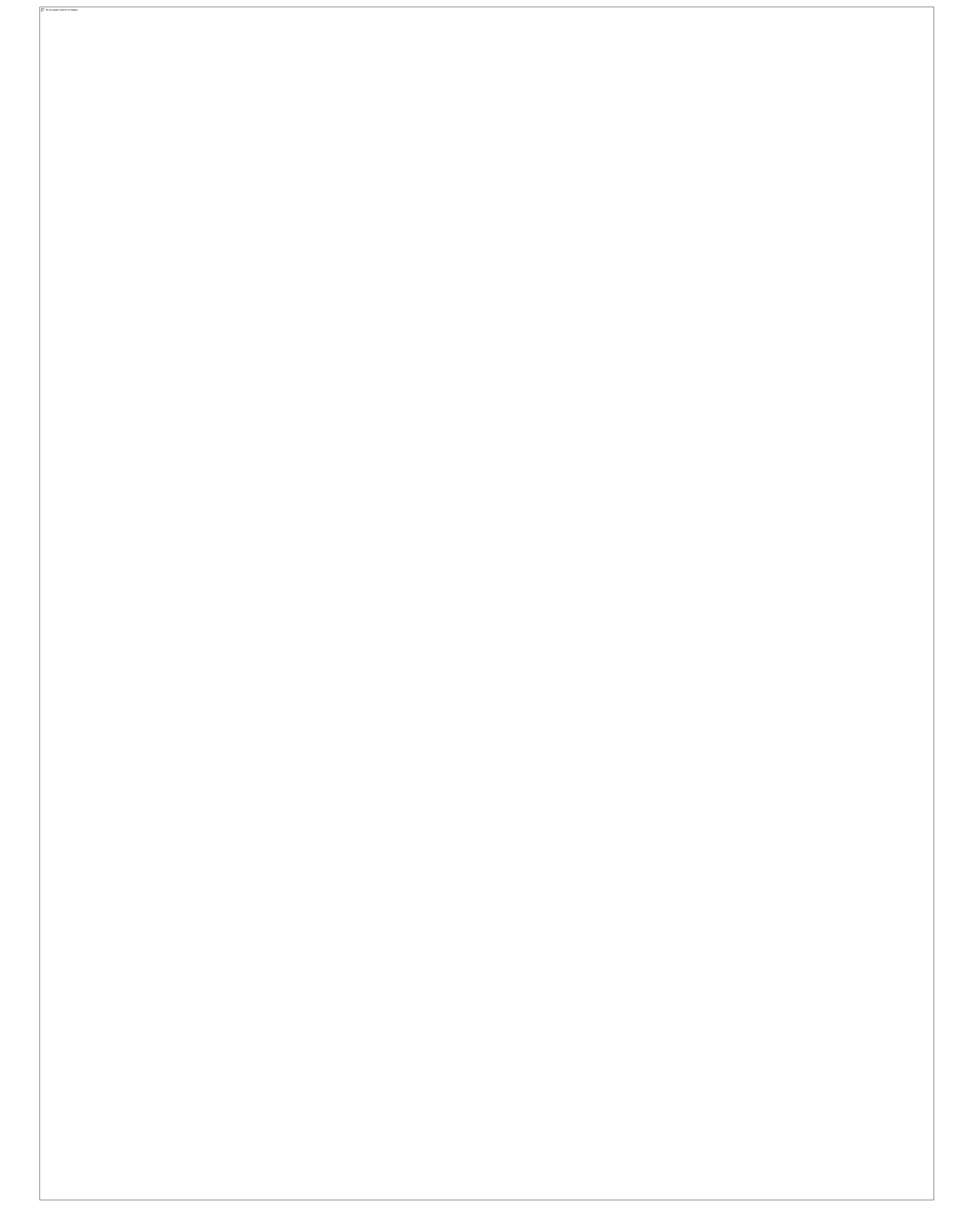

No se puede mostrar la imagen.

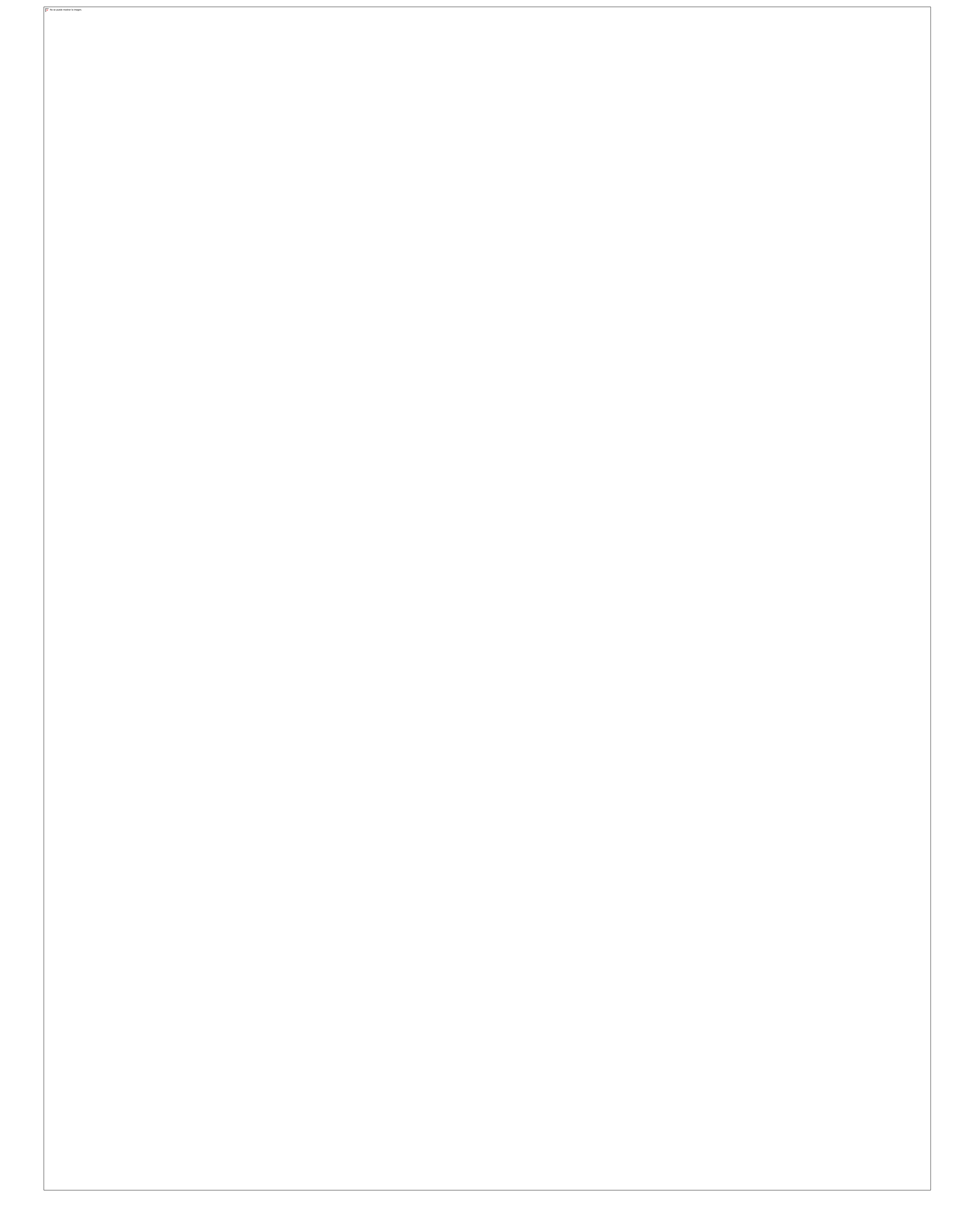

No se puede mostrar la imagen.

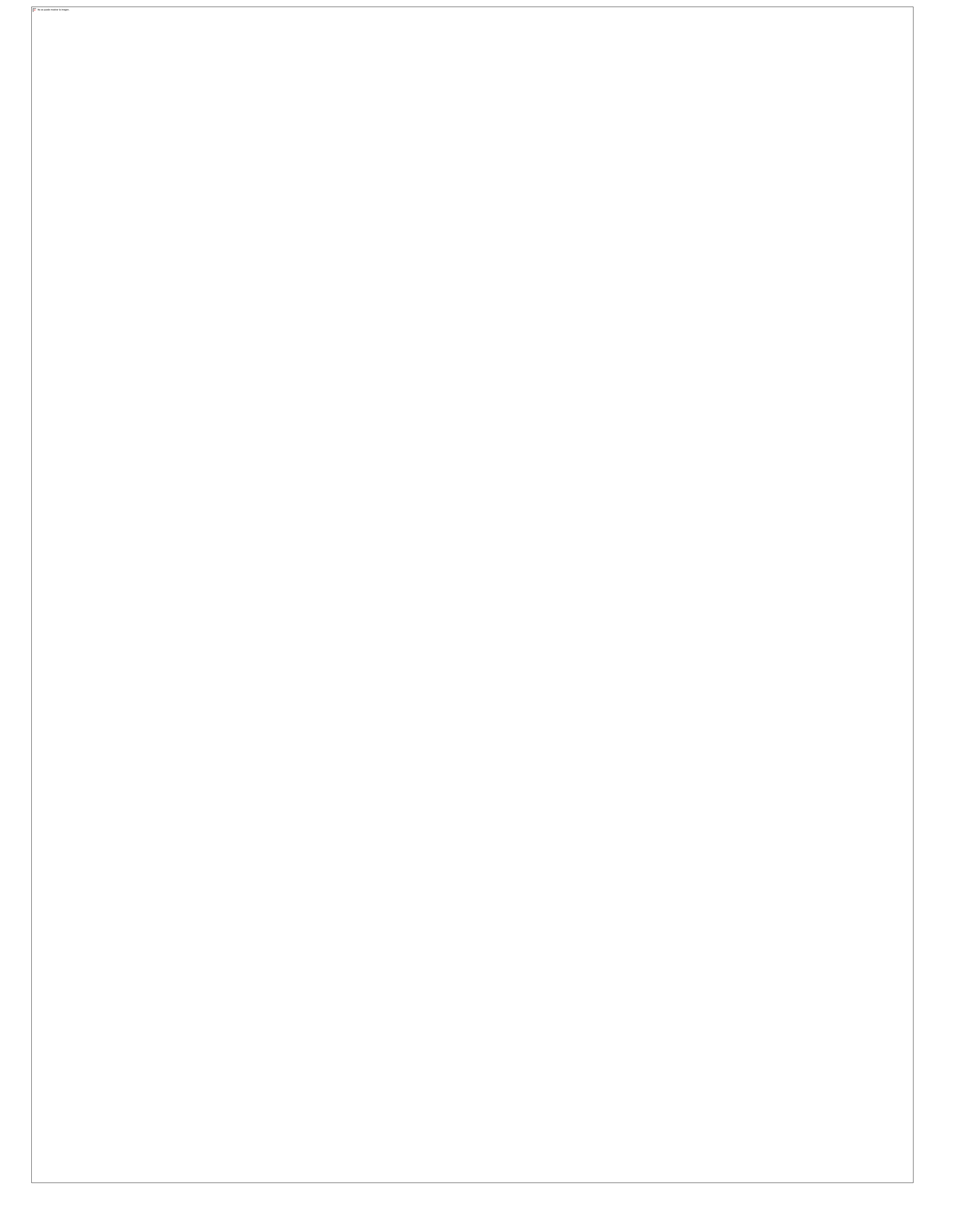

No se puede mostrar la imagen.

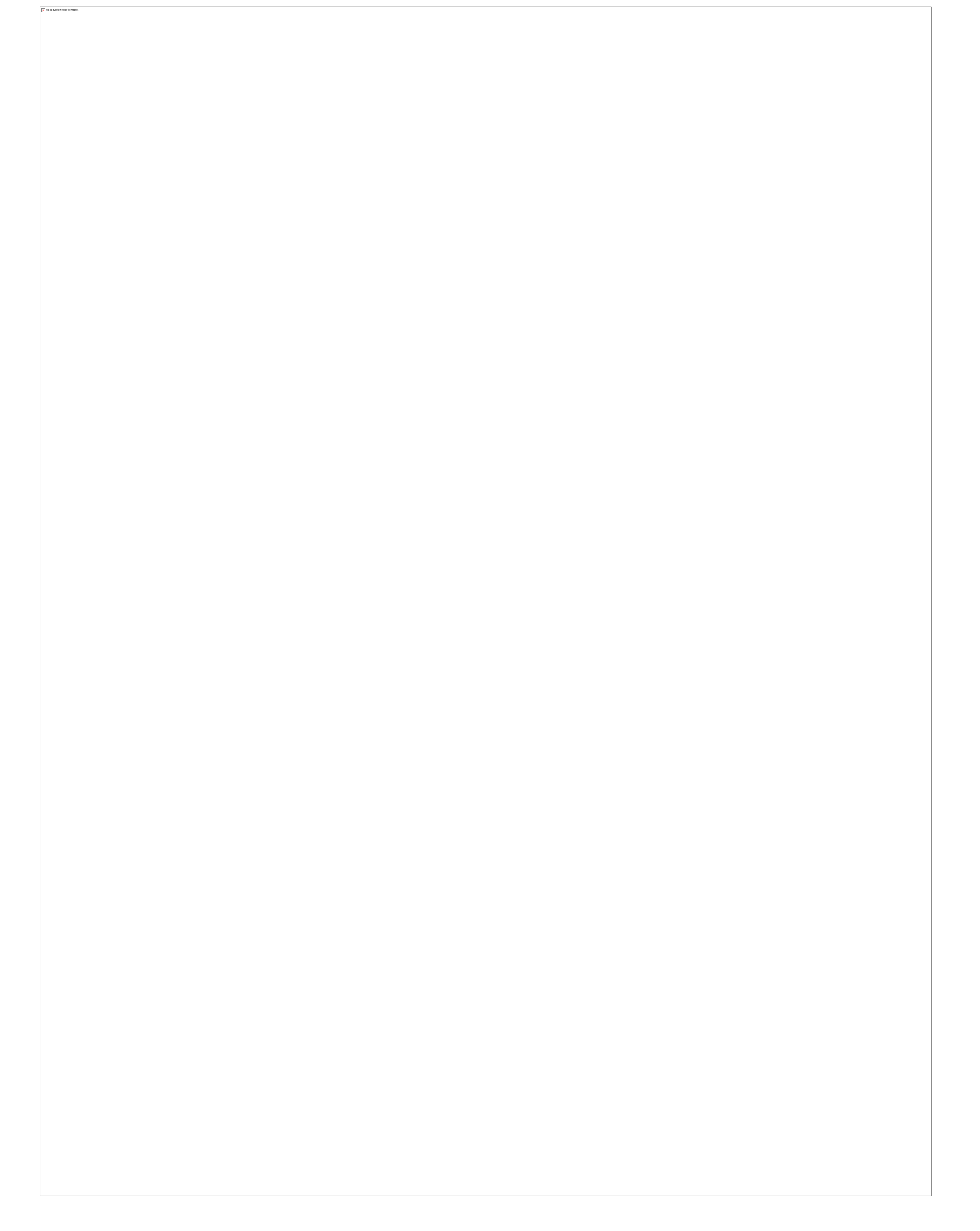

No se puede mostrar la imagen.

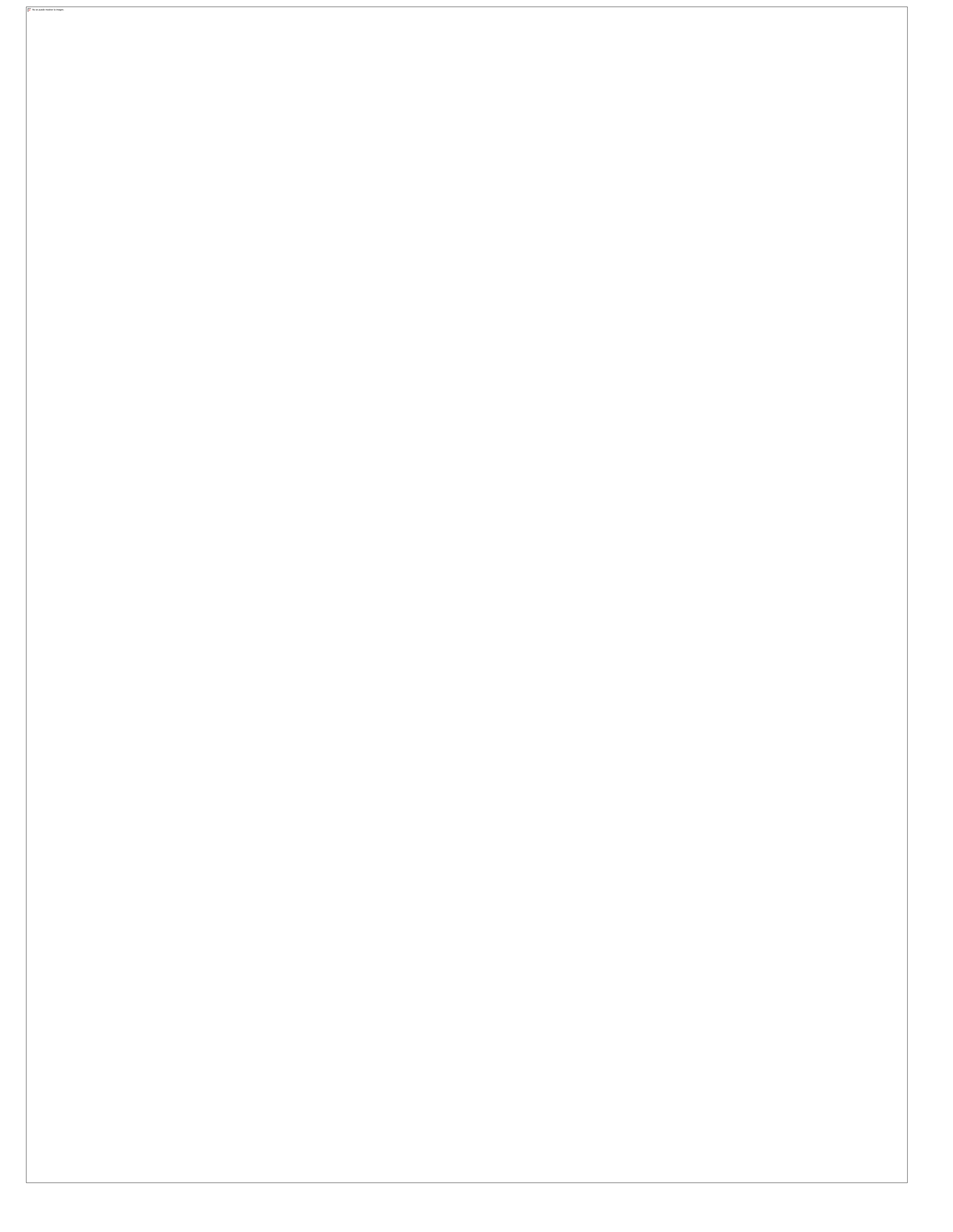

No se puede mostrar la imagen.

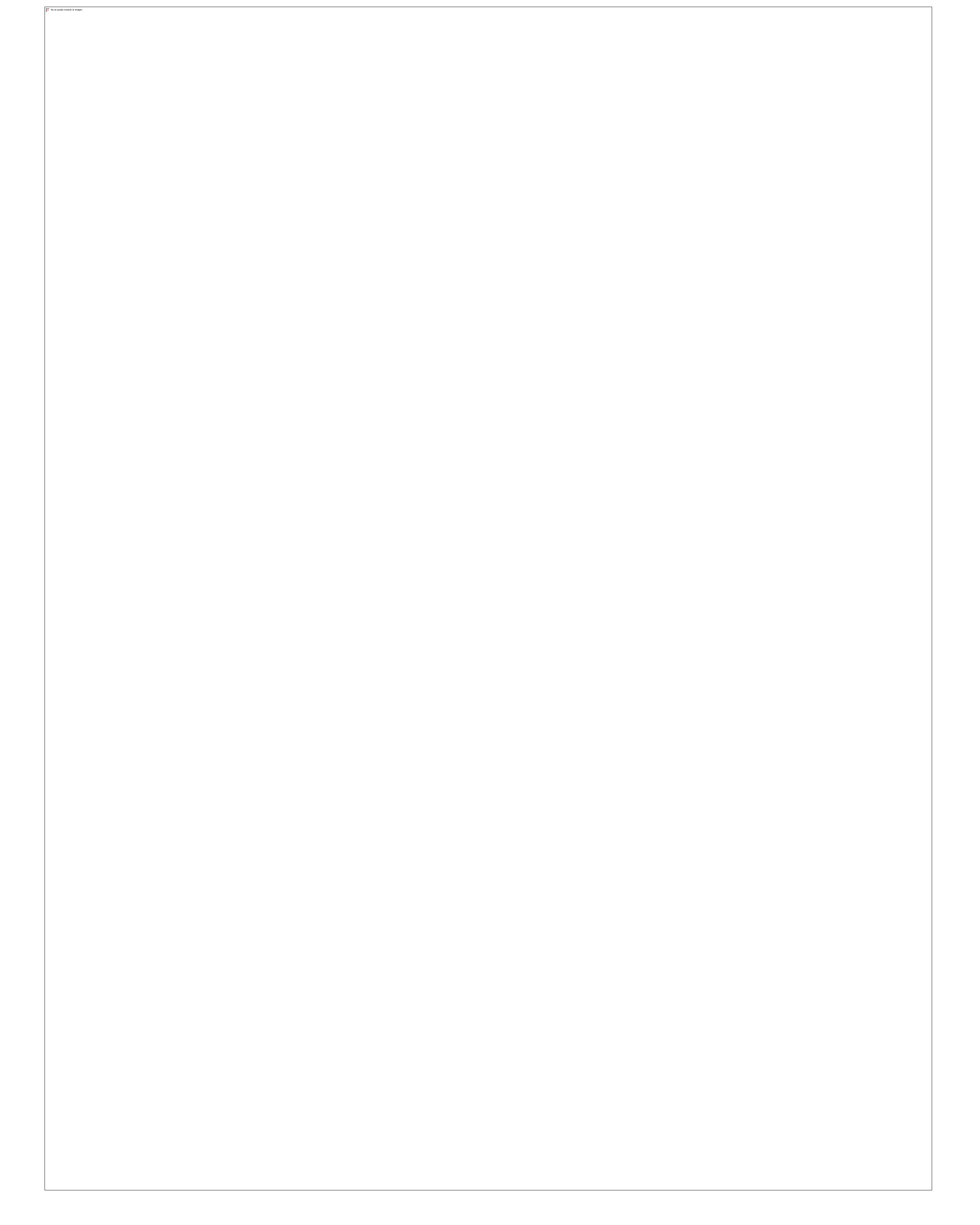

No se puede mostrar la imagen.

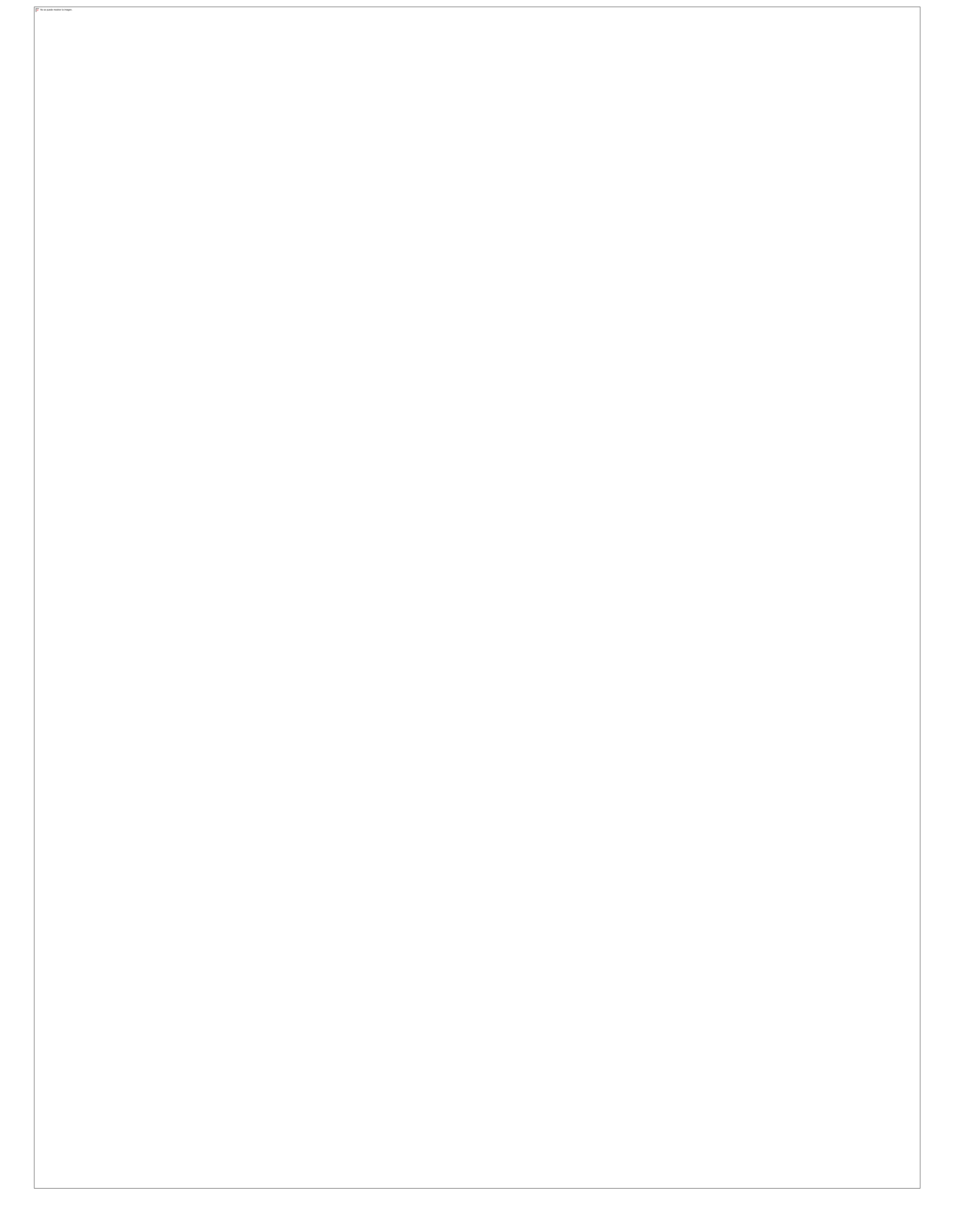

No se puede mostrar la imagen.

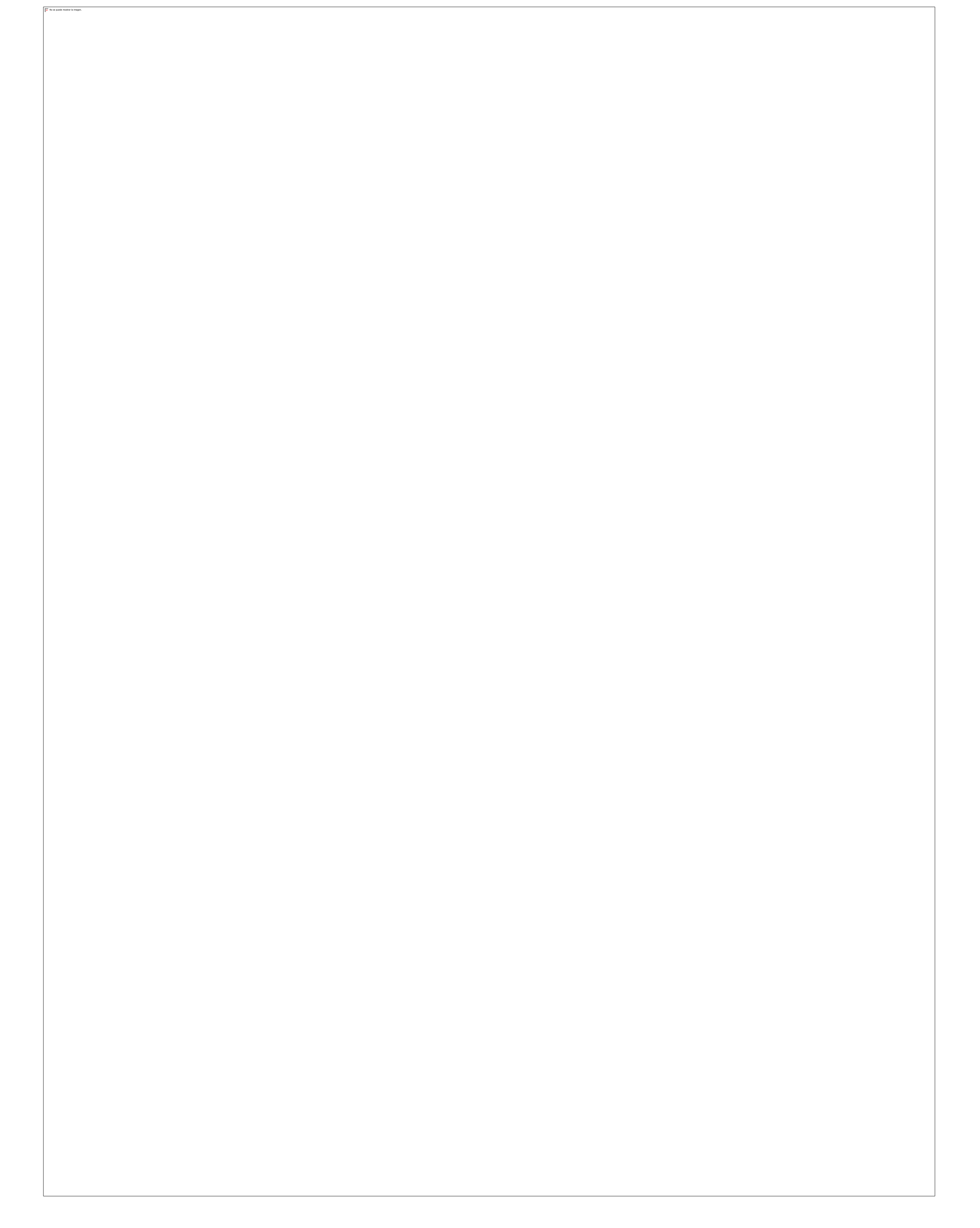

No se puede mostrar la imagen.

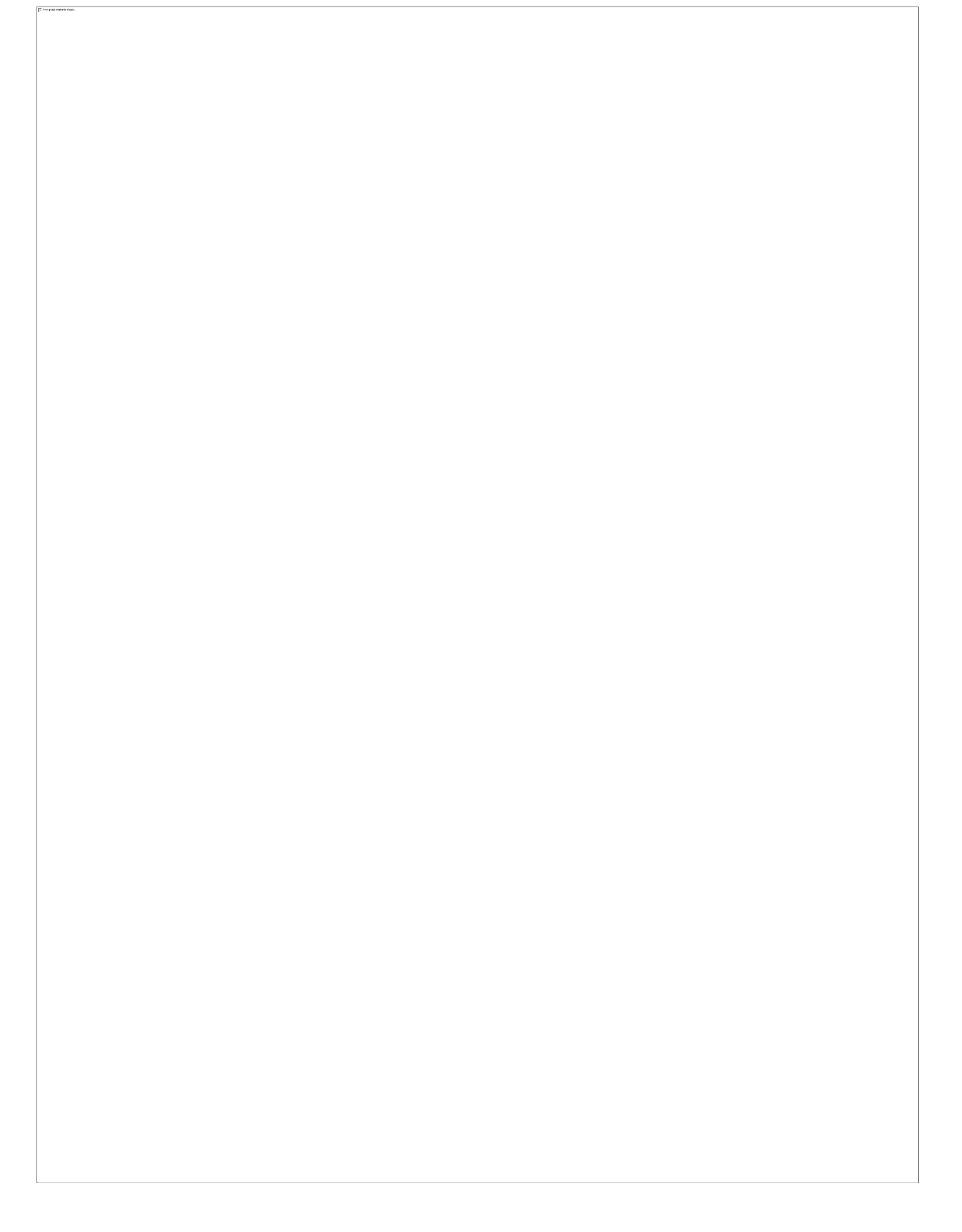

No se puede mostrar la imagen.

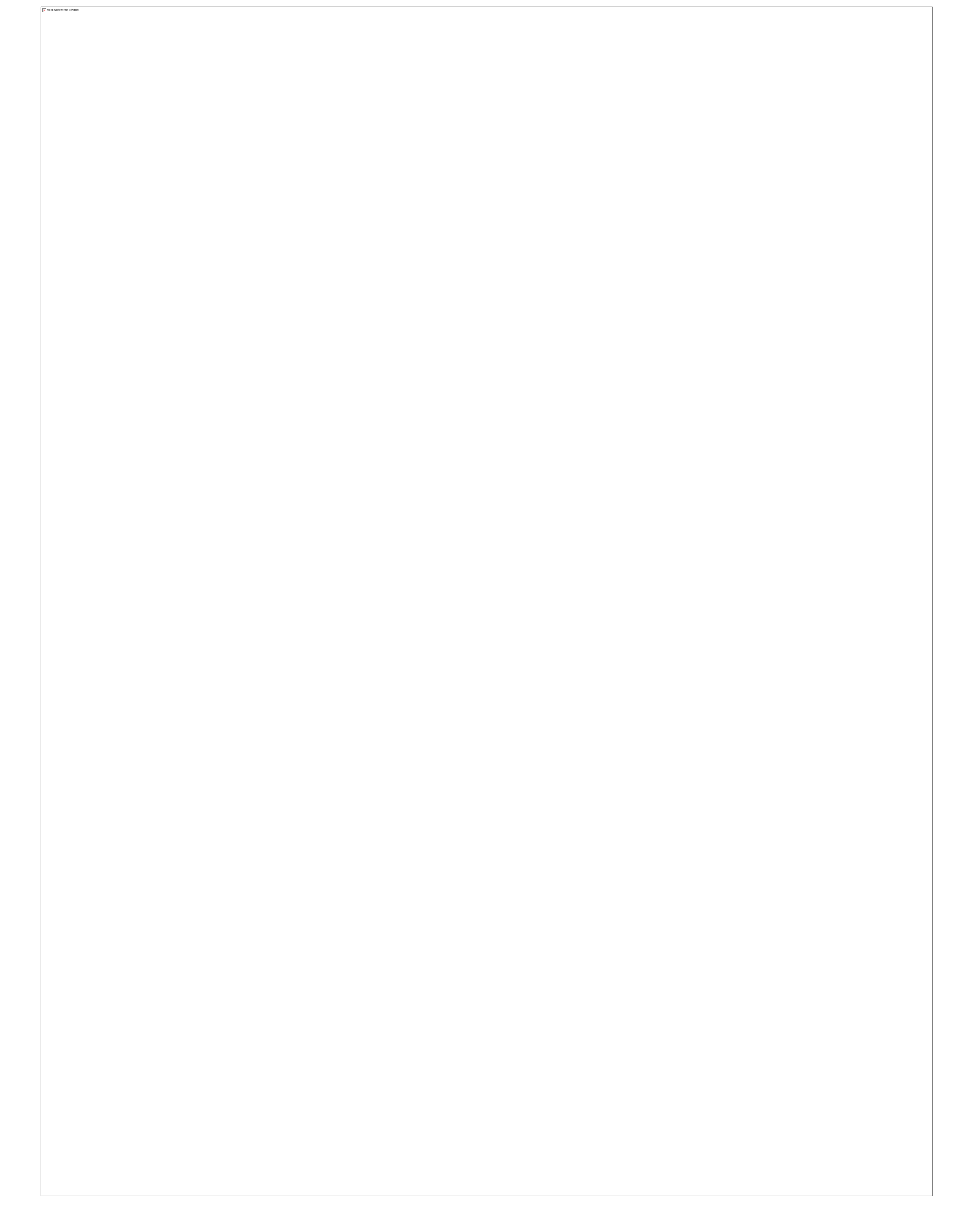

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

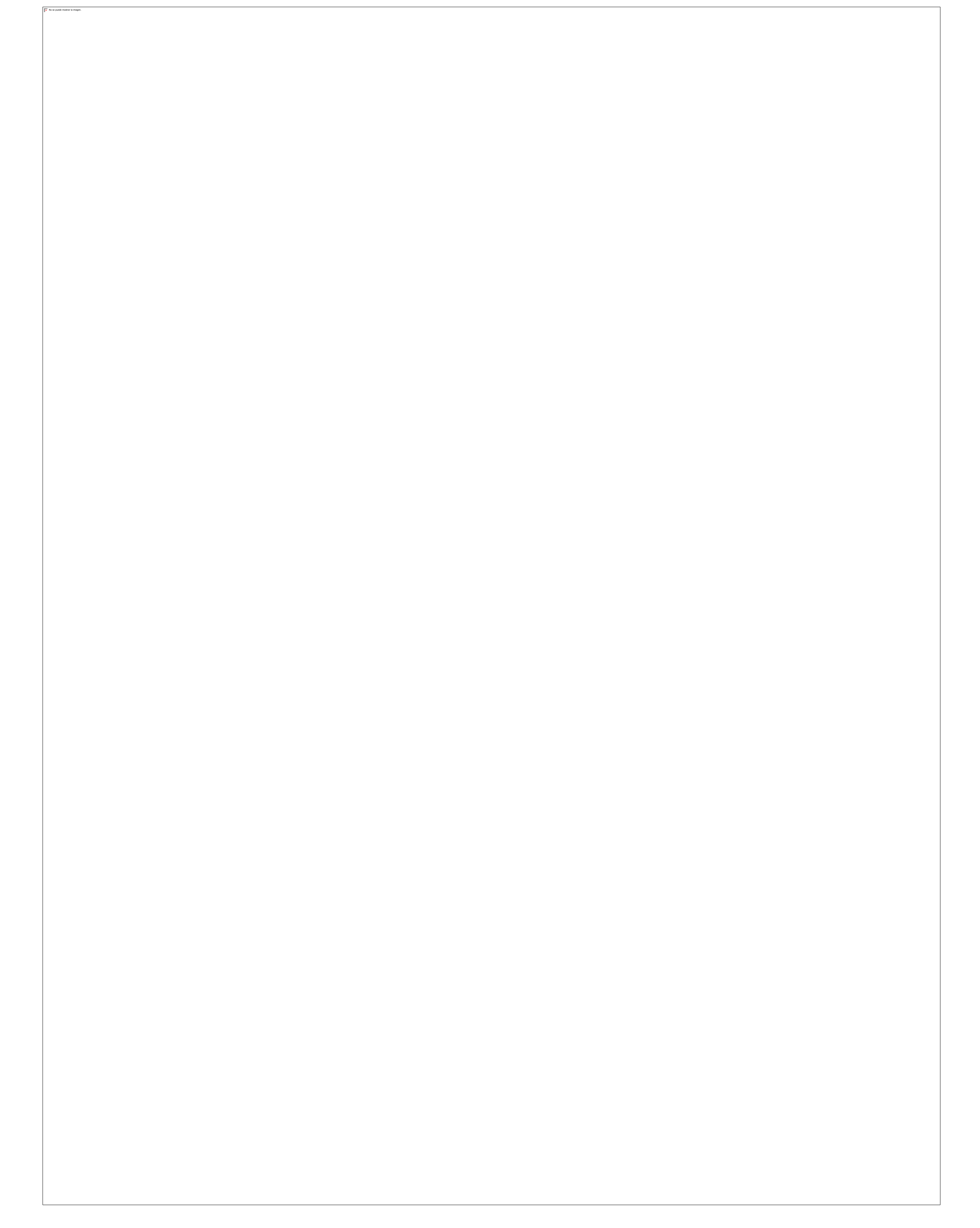

No se puede mostrar la imagen.

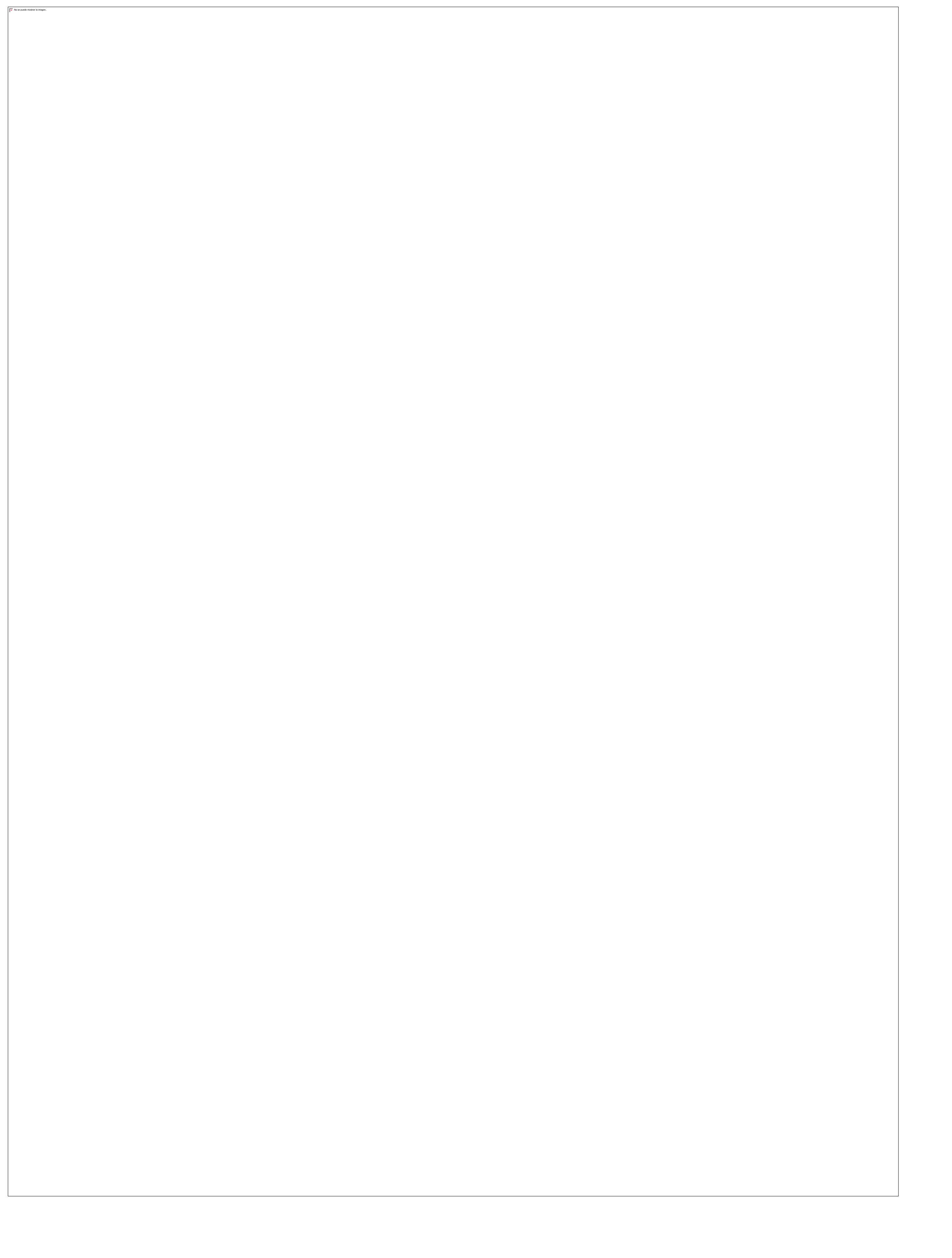

No se puede mostrar la imagen.

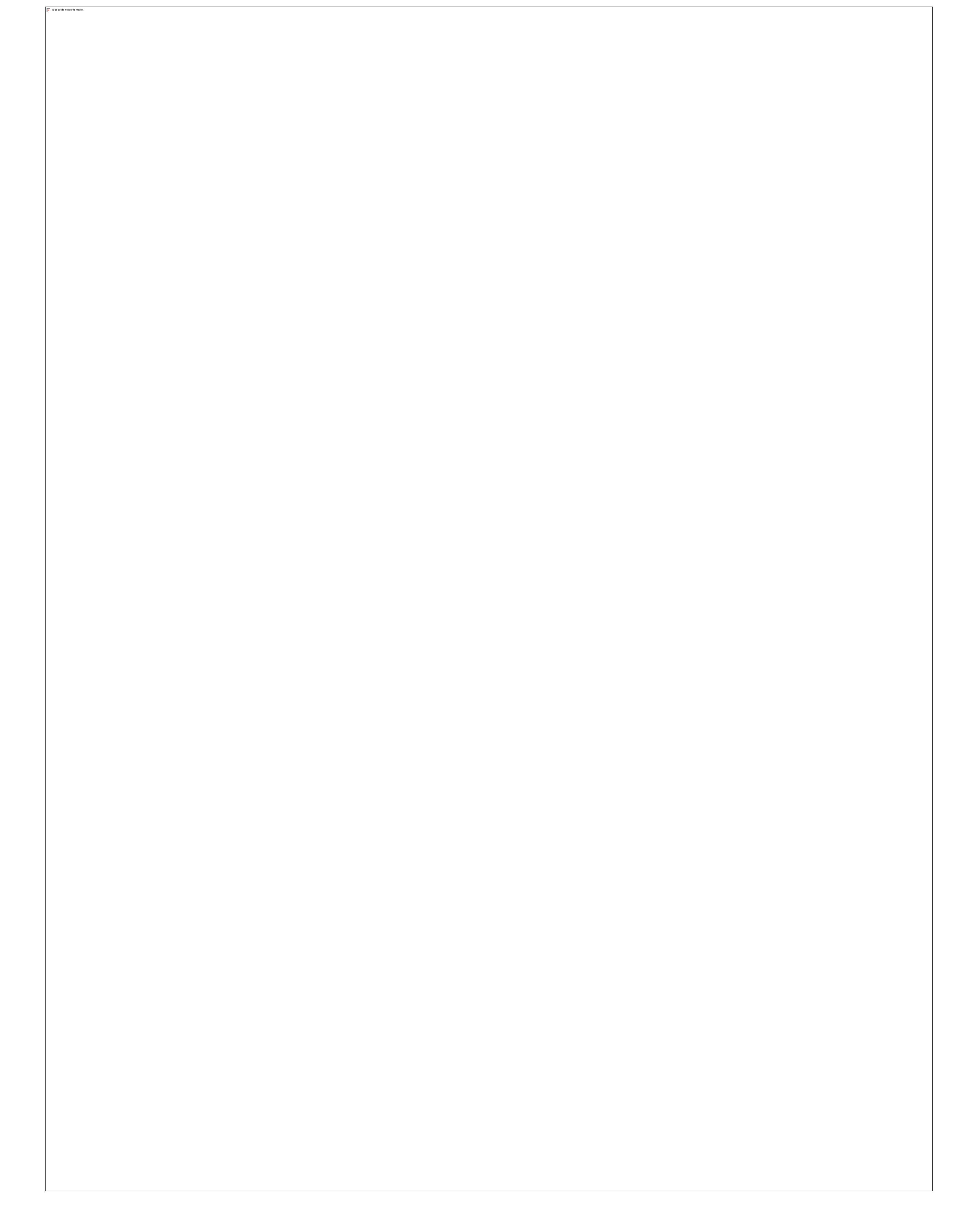

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

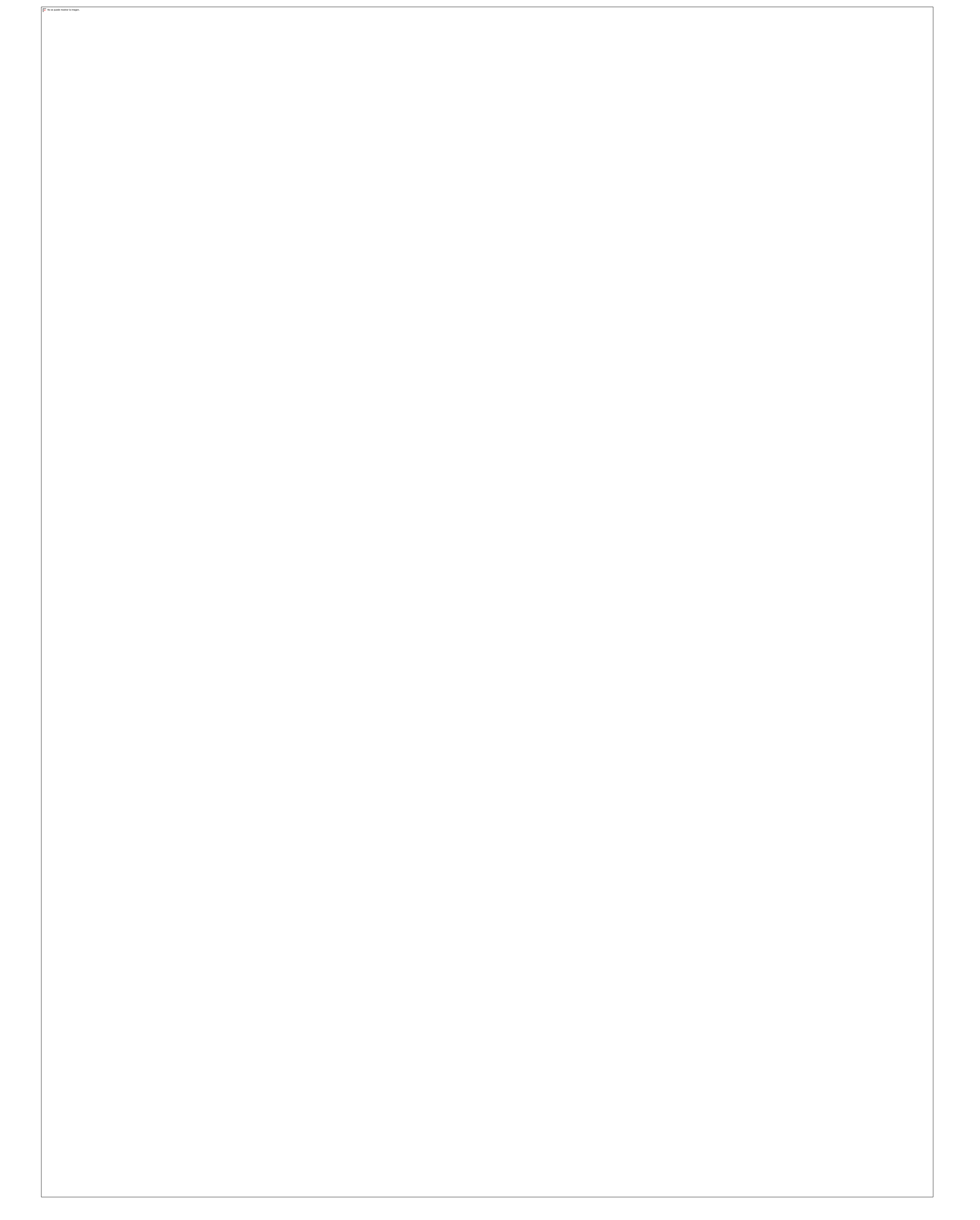
No se puede mostrar la imagen.

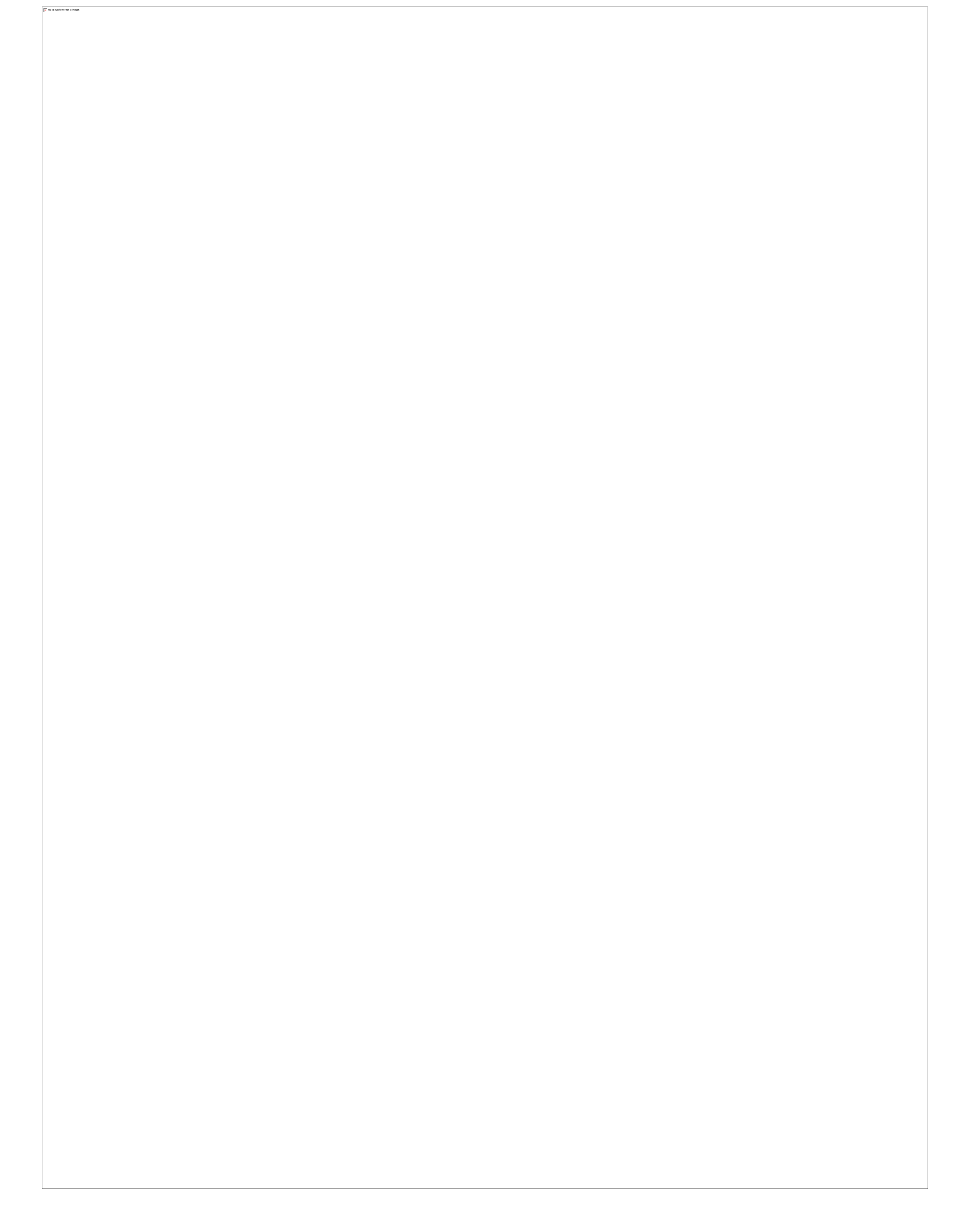

No se puede mostrar la imagen.

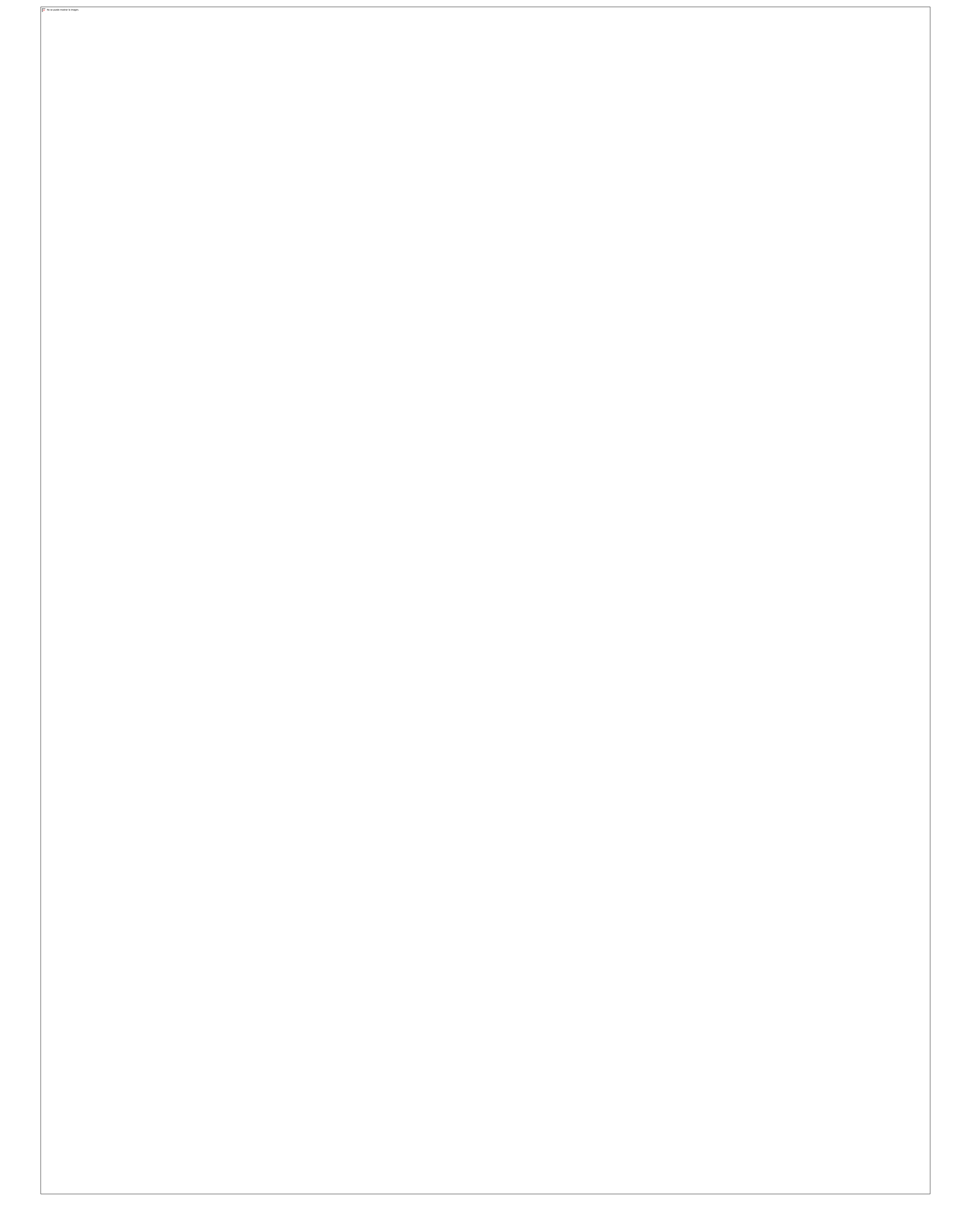

No se puede mostrar la imagen.

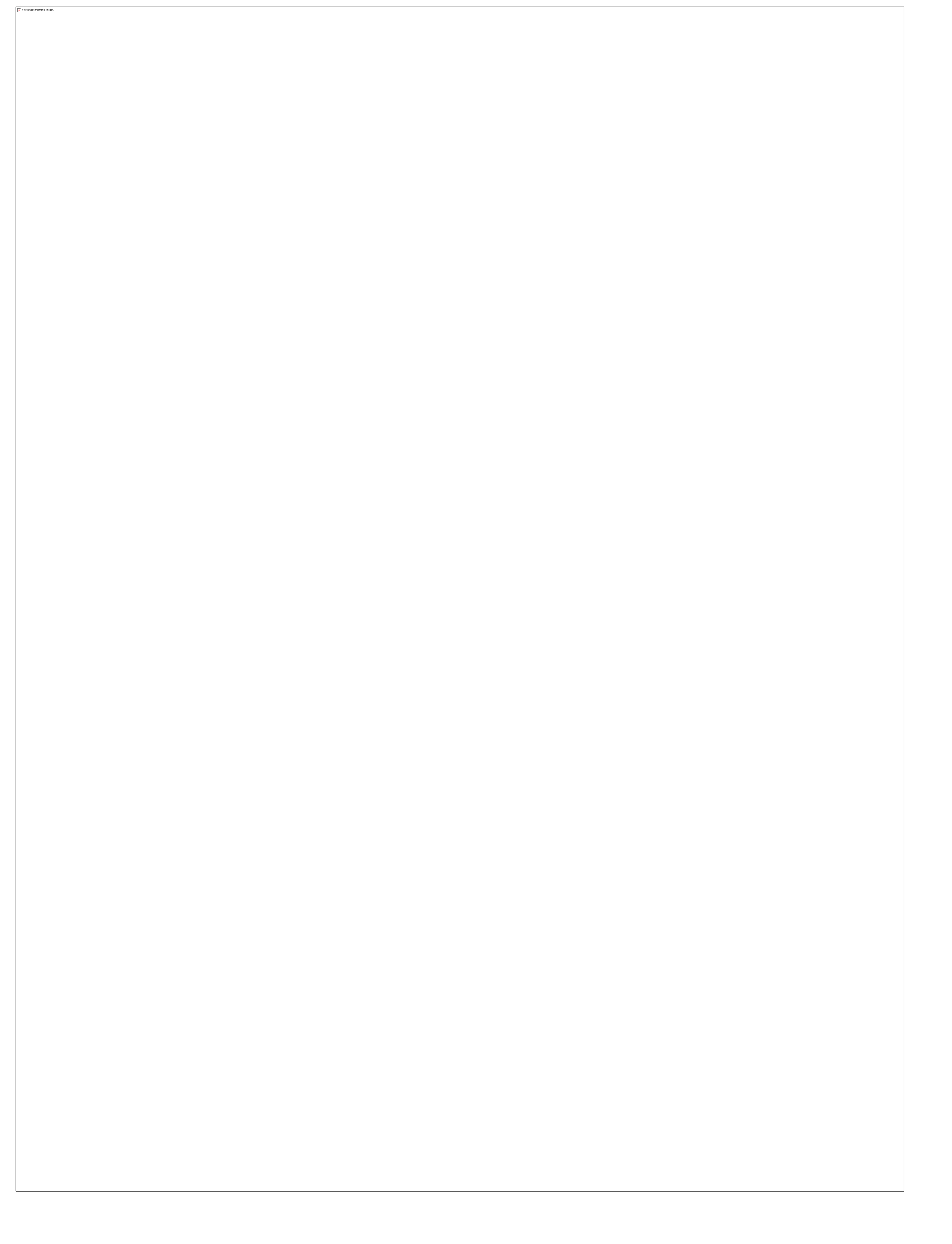

No se puede mostrar la imagen.

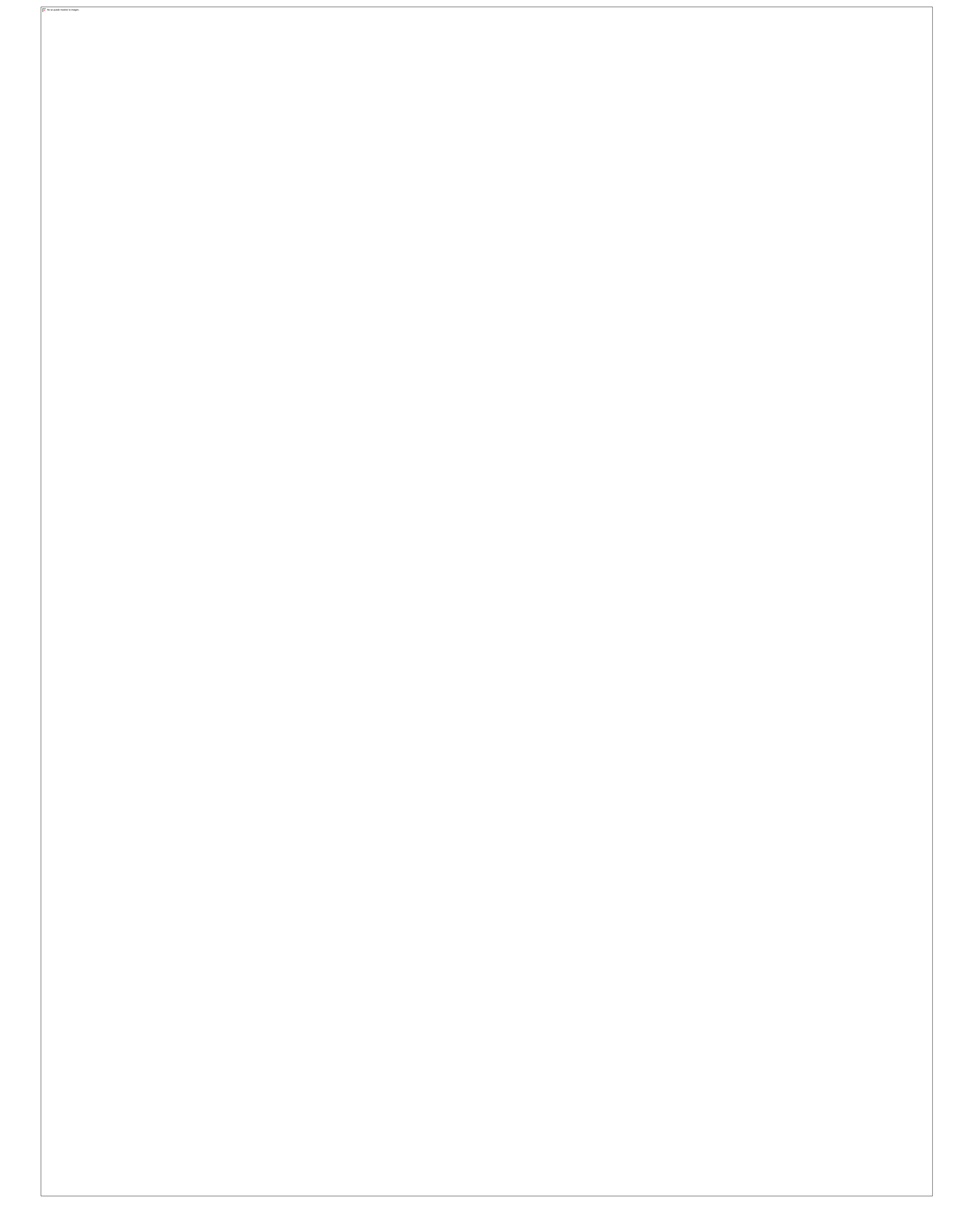
No se puede mostrar la imagen.

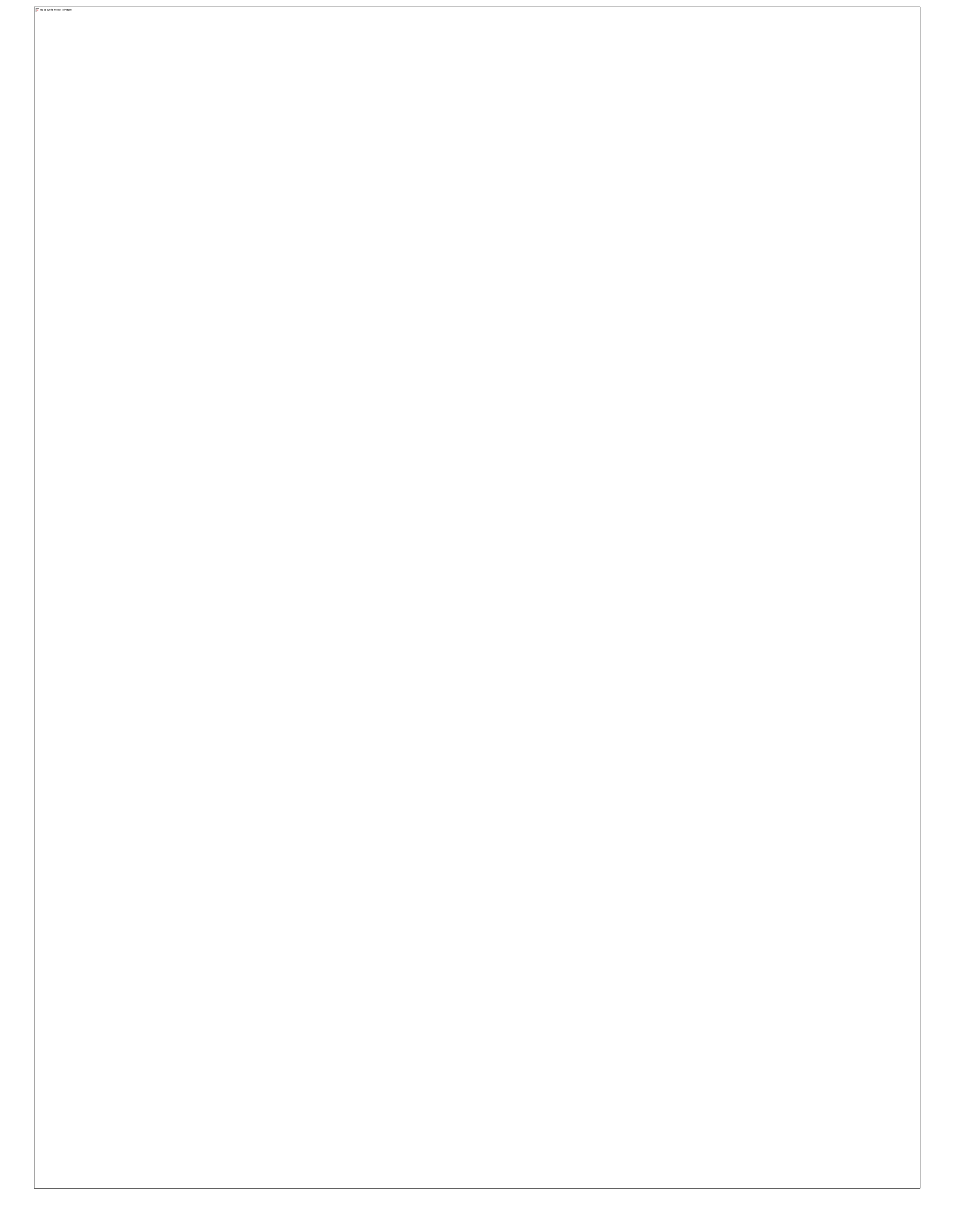

No se puede mostrar la imagen.

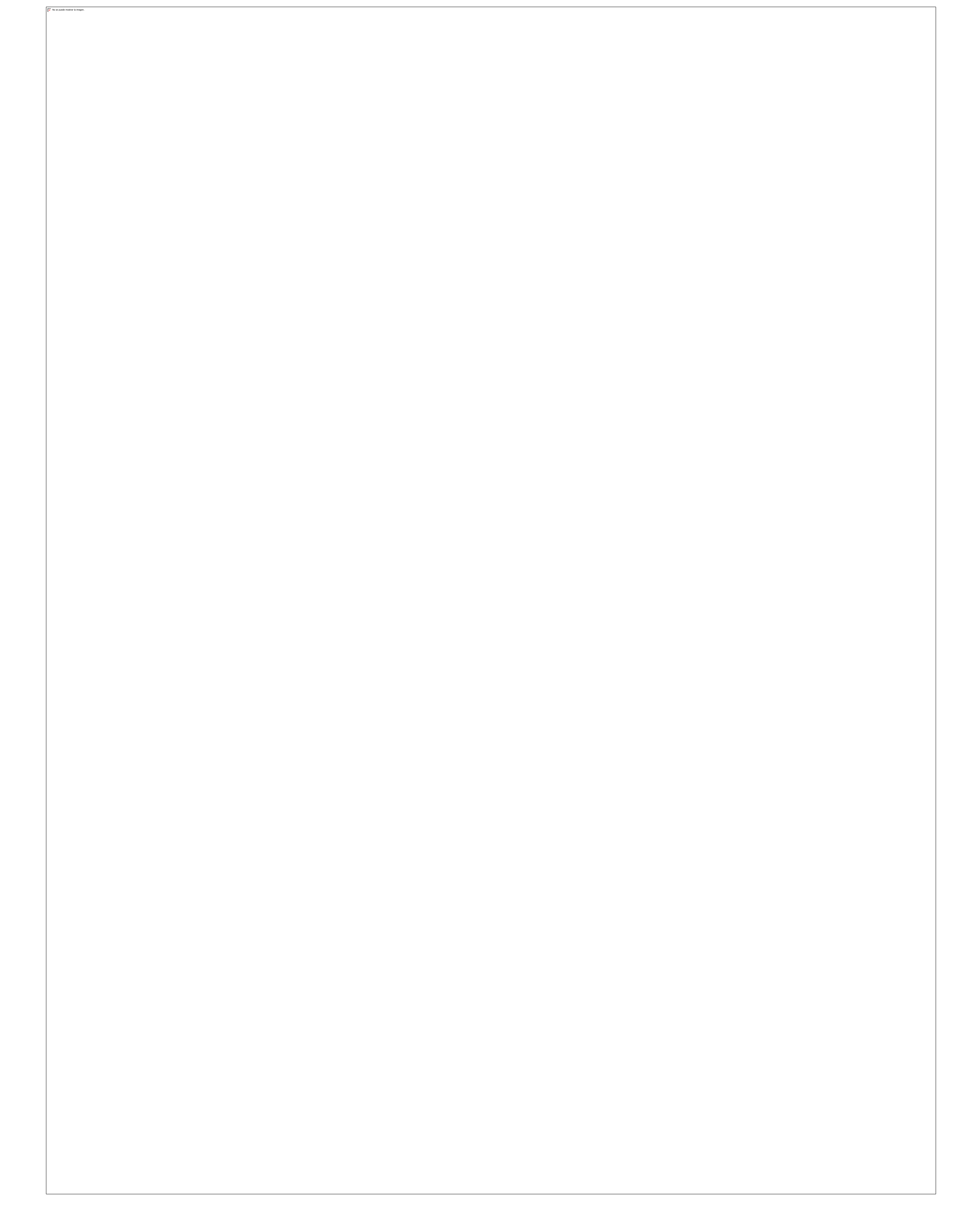

No se puede mostrar la imagen.

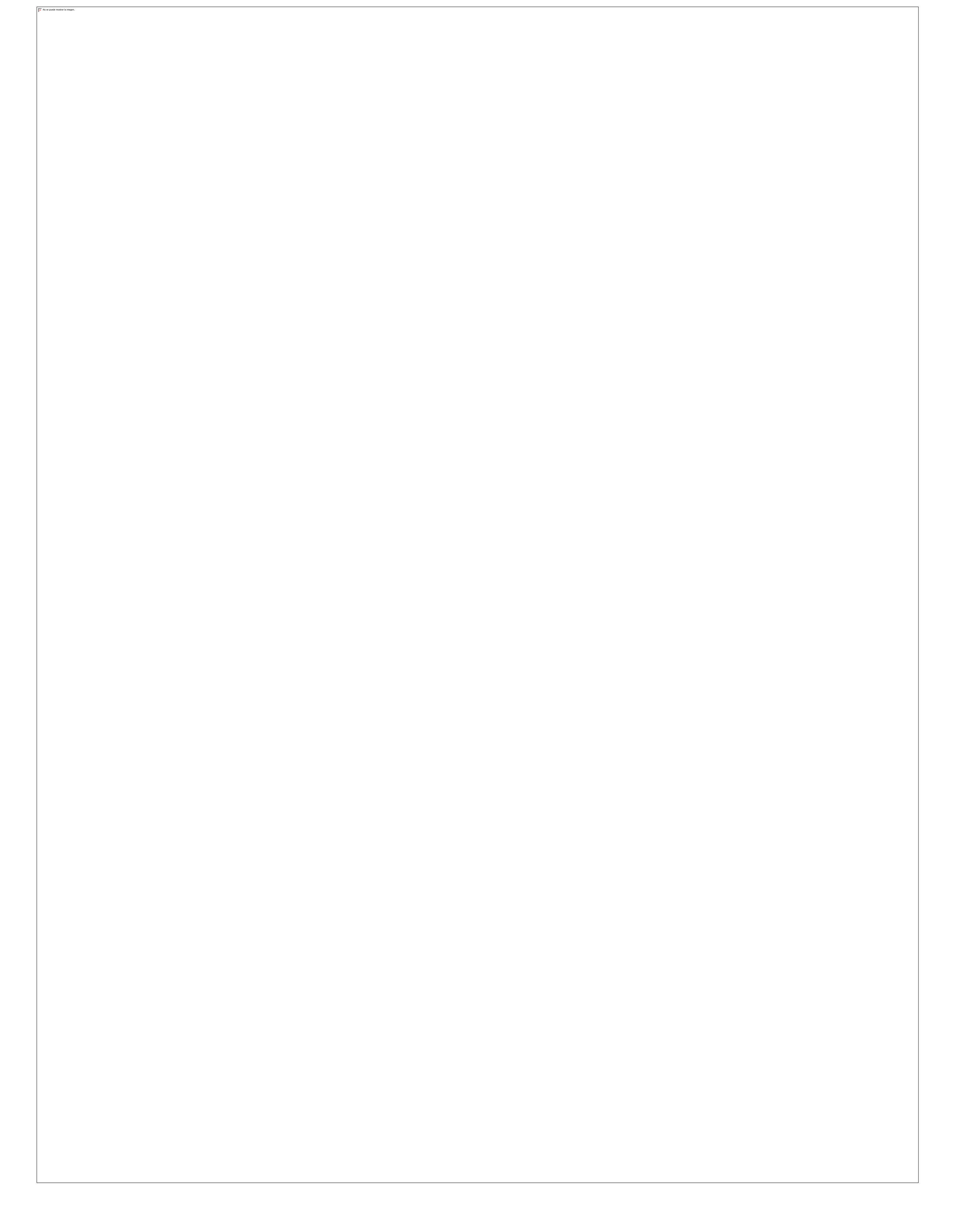

No se puede mostrar la imagen.

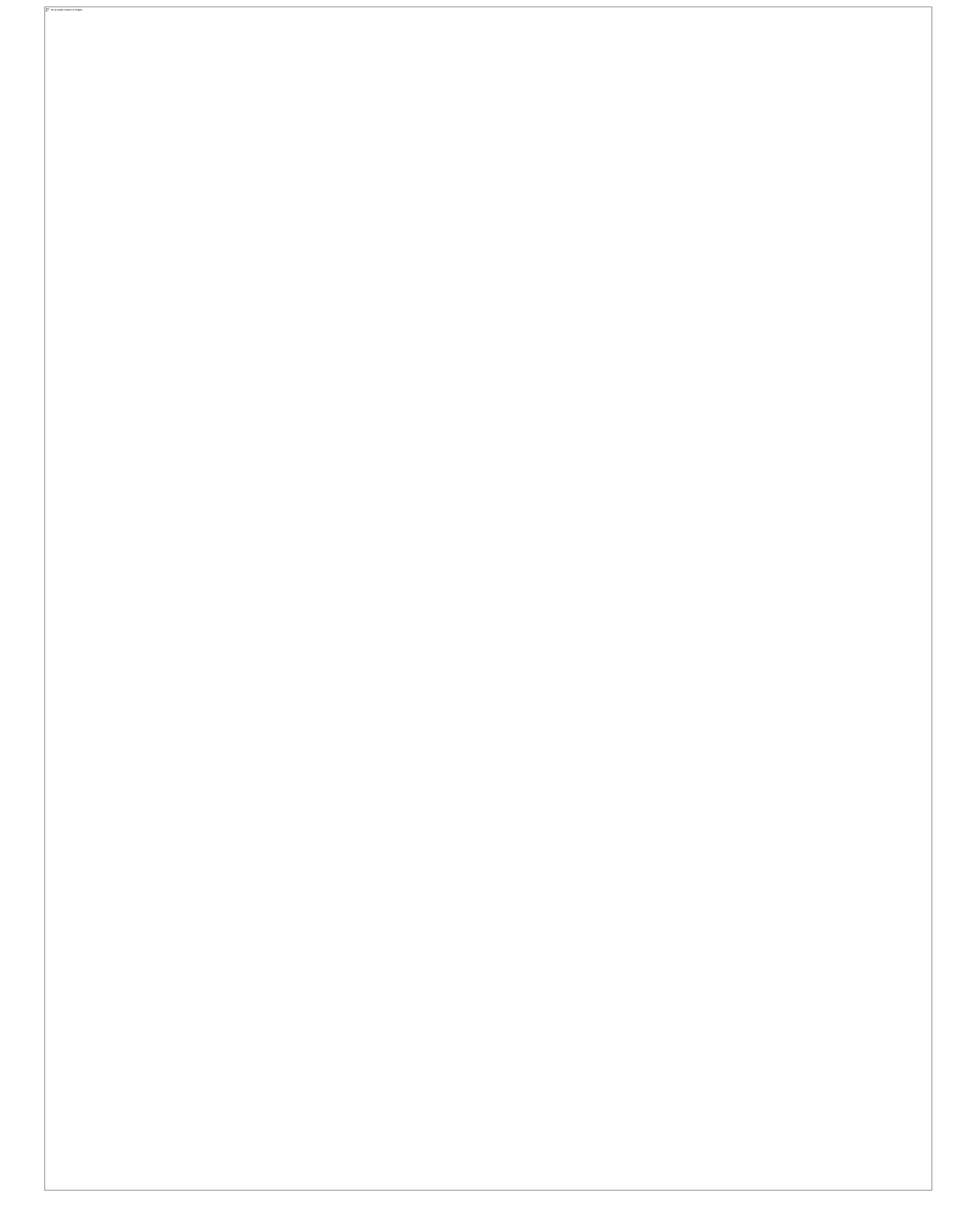

No se puede mostrar la imagen.

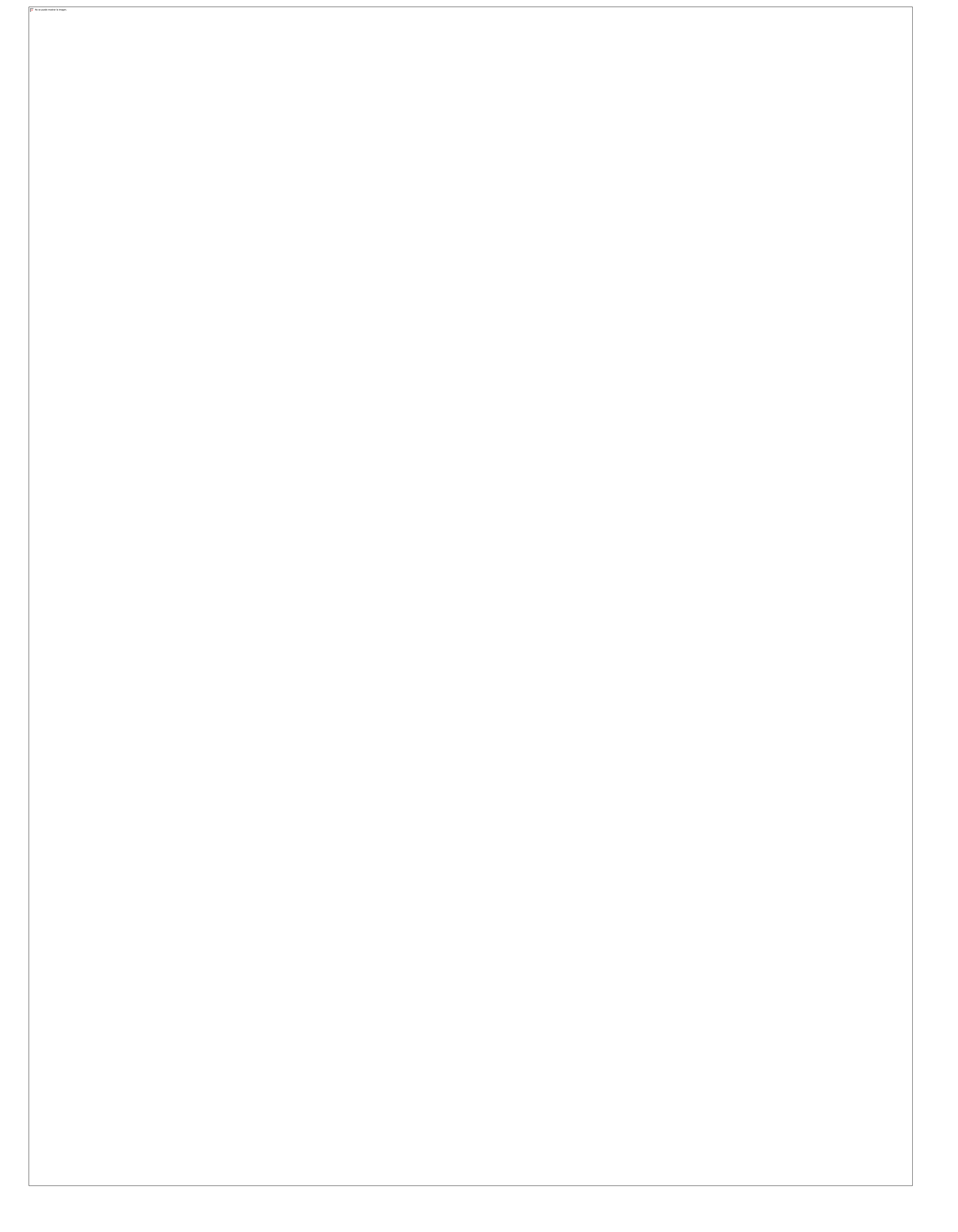

No se puede mostrar la imagen.

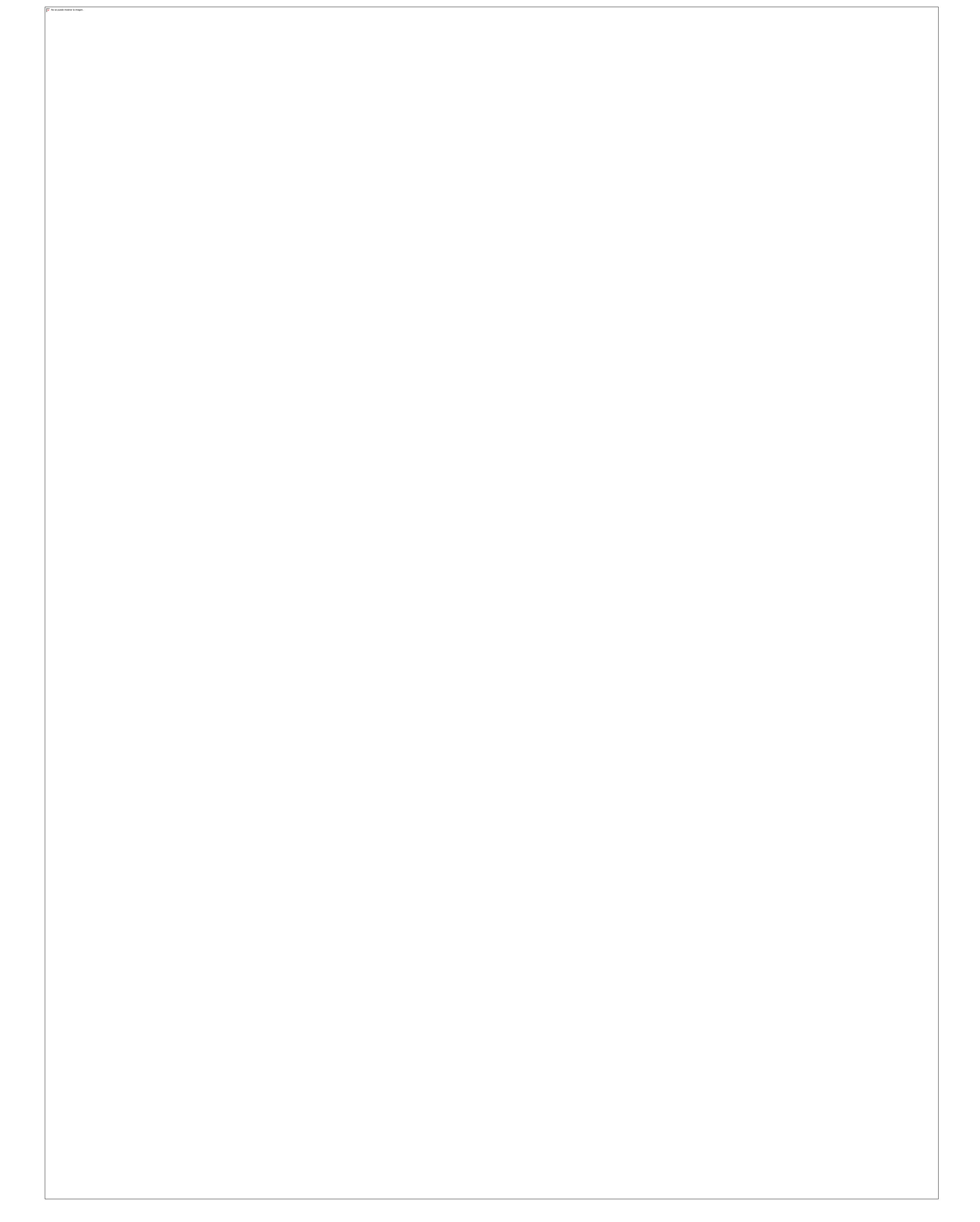

No se puede mostrar la imagen.

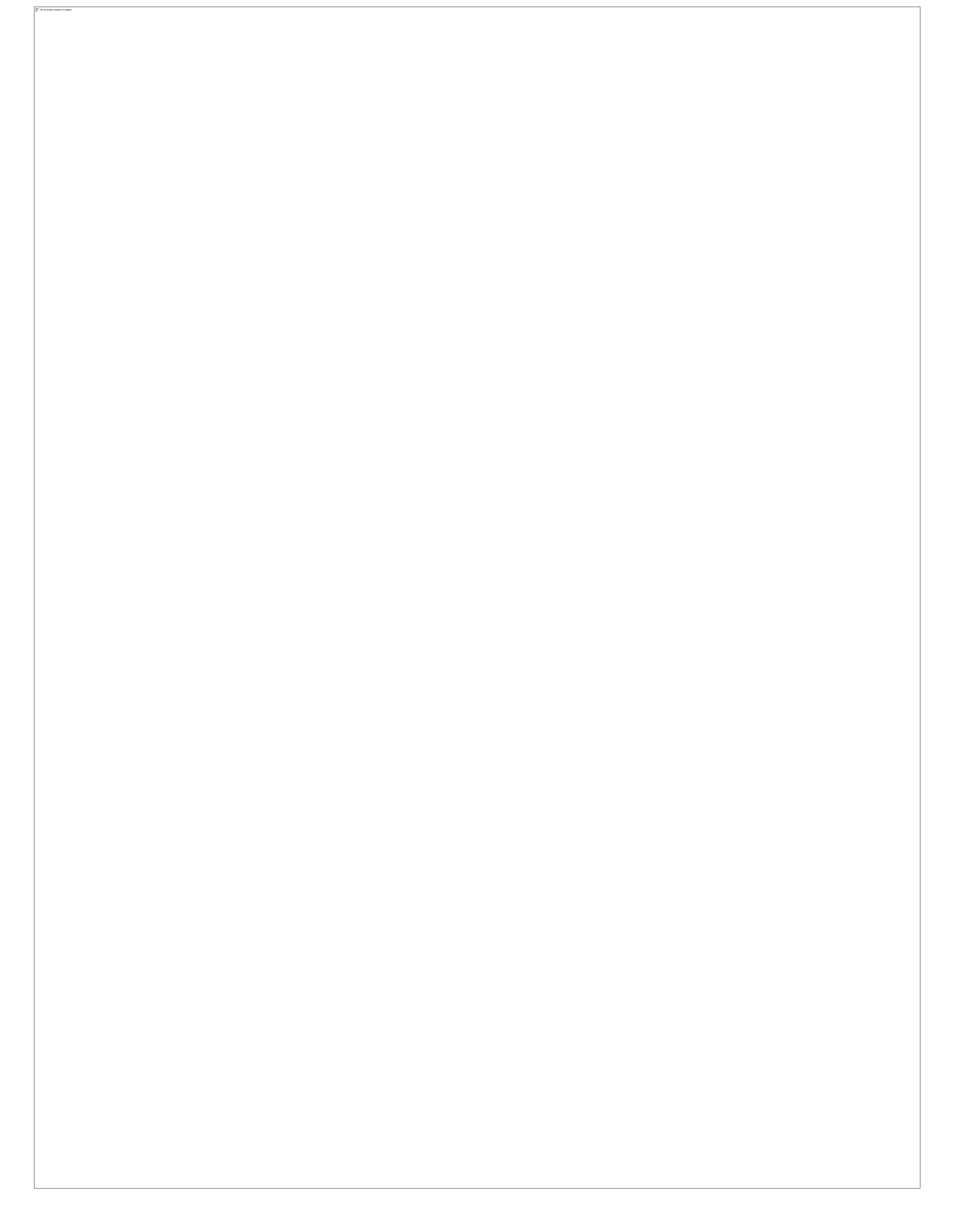

No se puede mostrar la imagen.

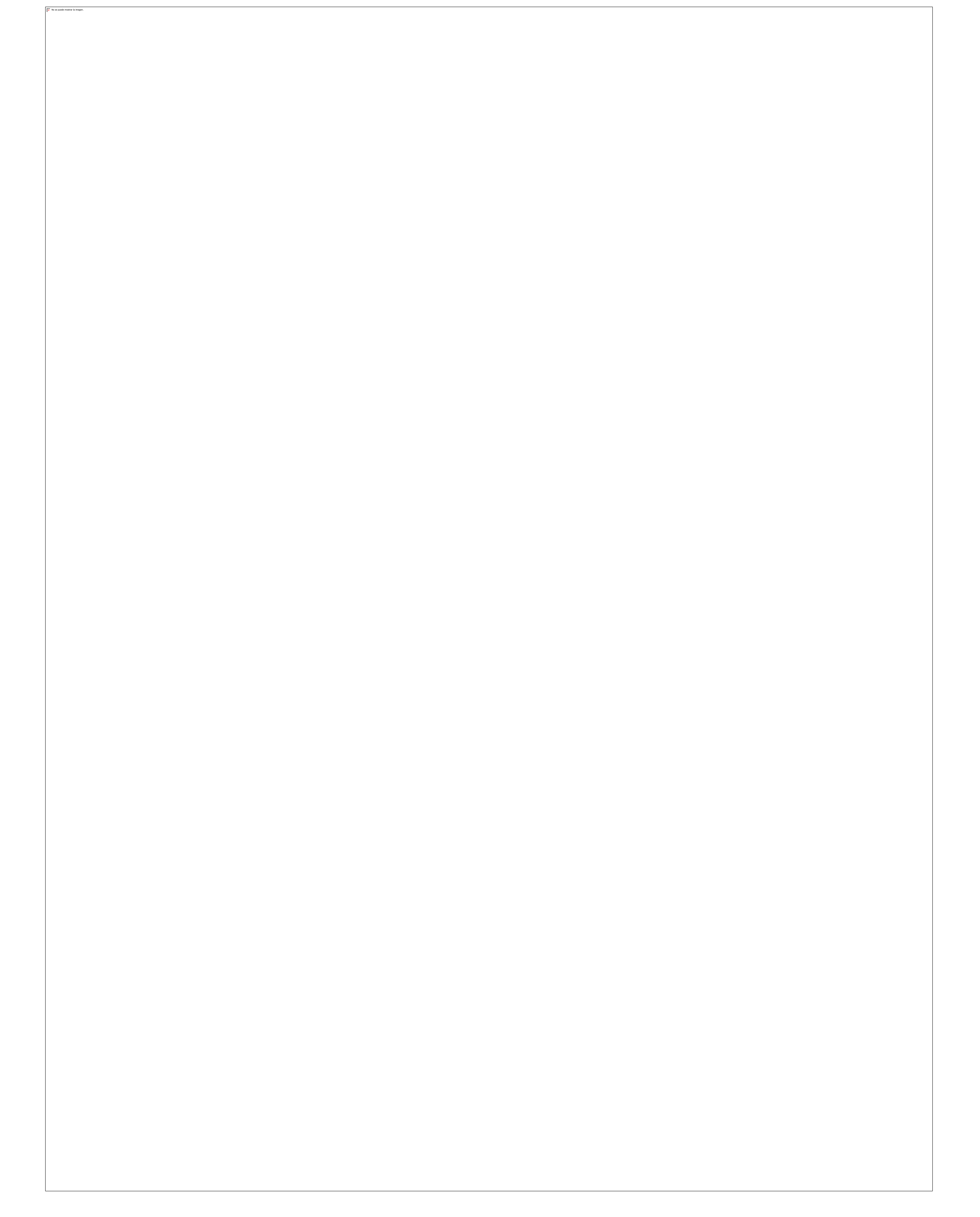

No se puede mostrar la imagen.

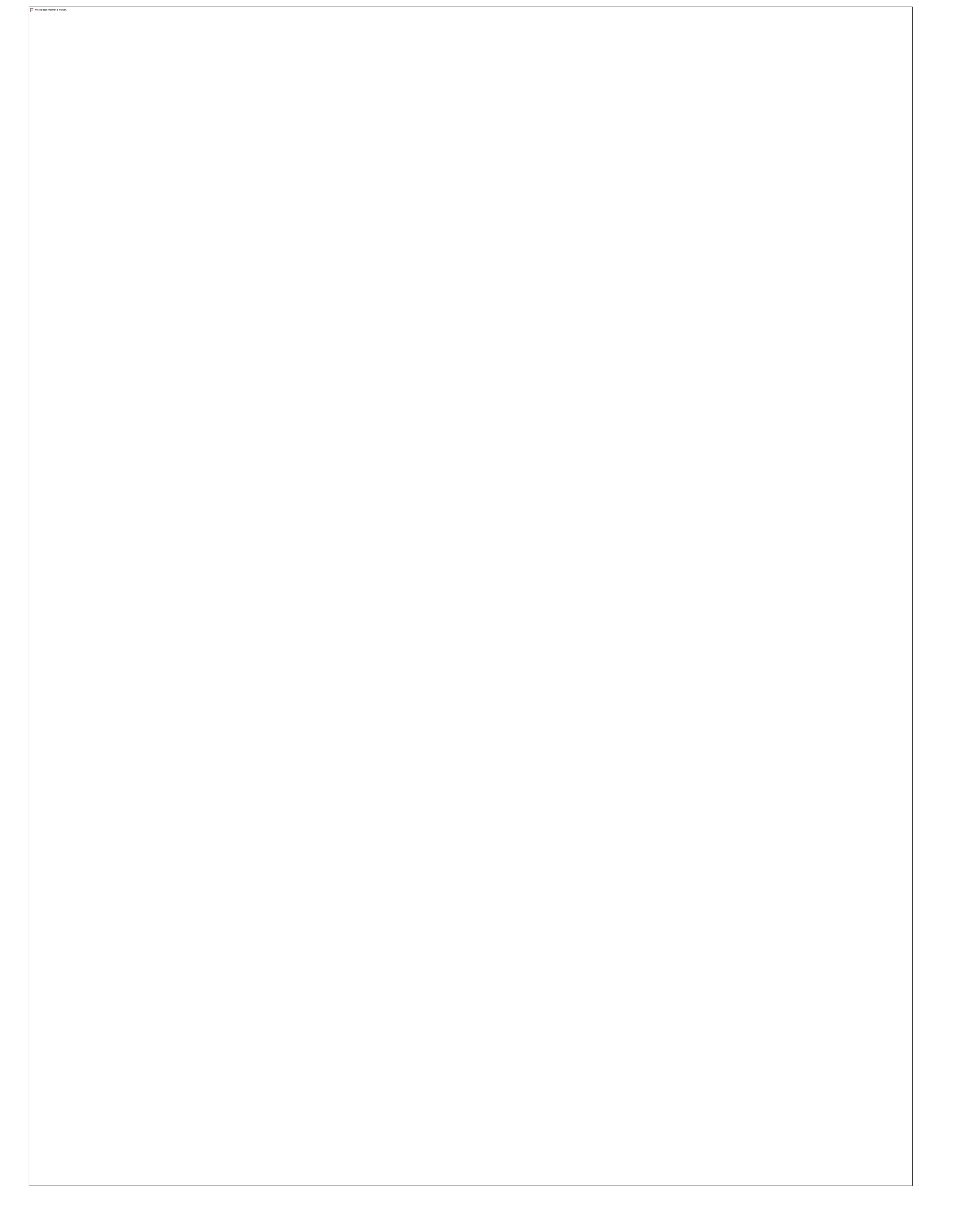

No se puede mostrar la imagen.

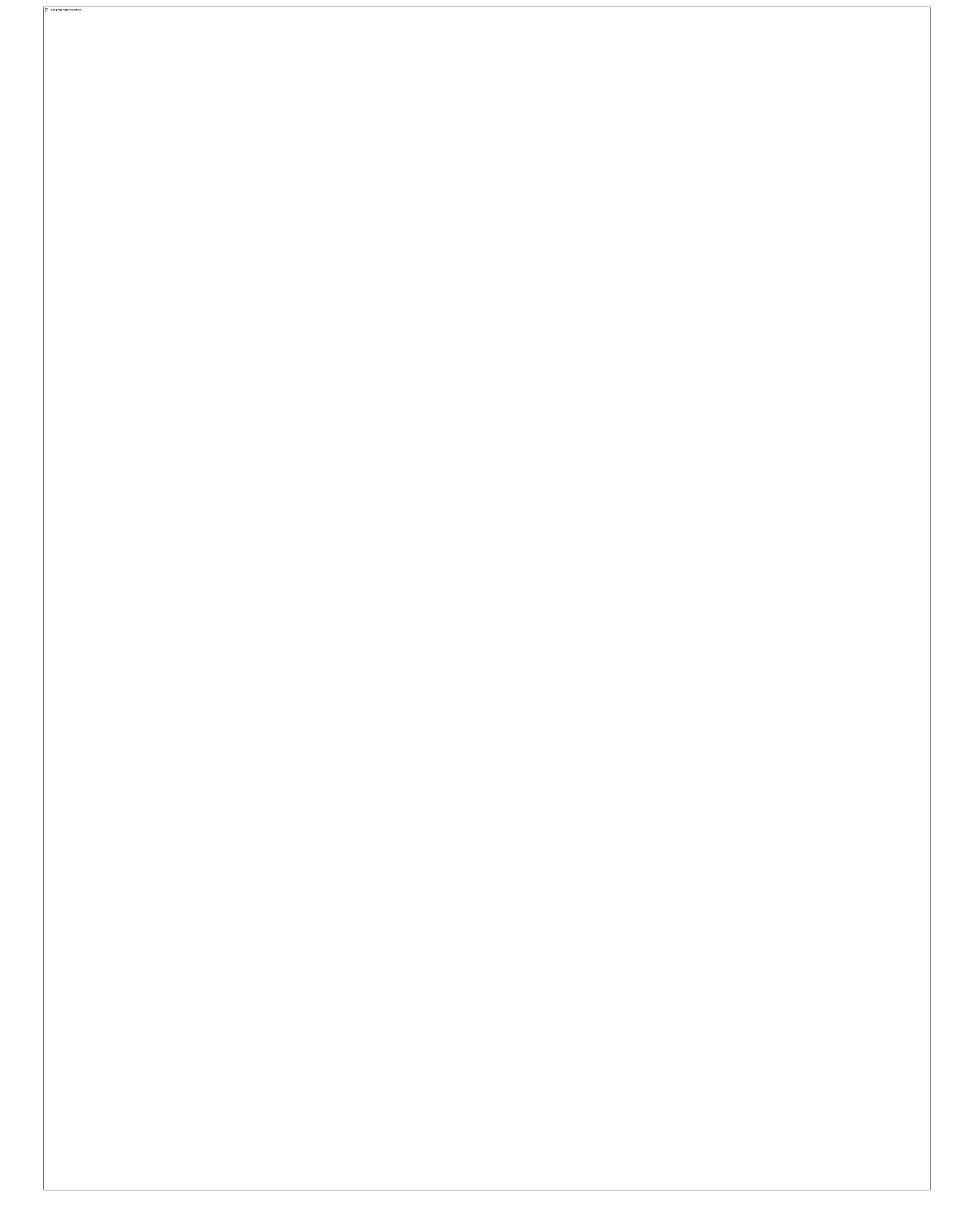

No se puede mostrar la imagen.

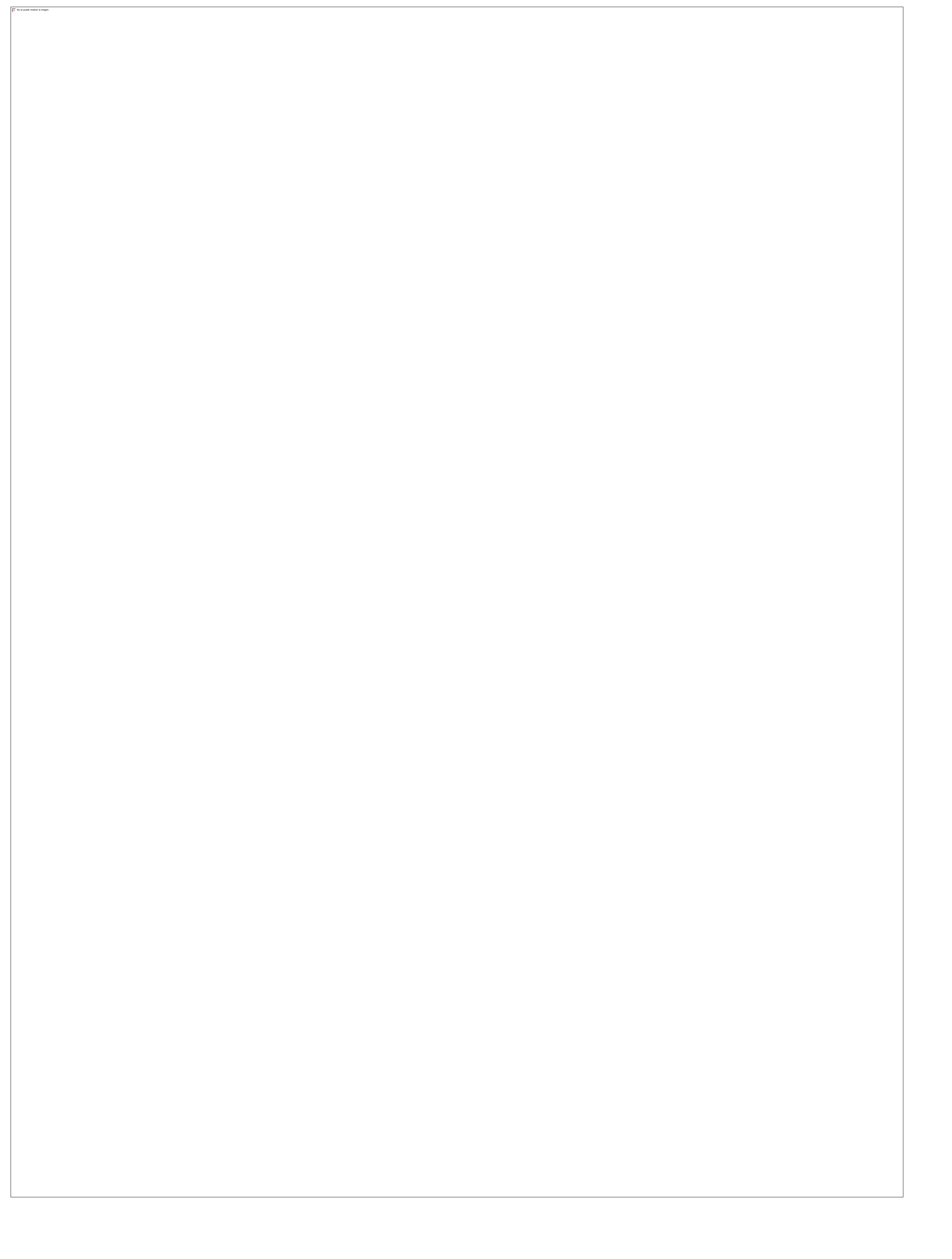

No se puede mostrar la imagen.

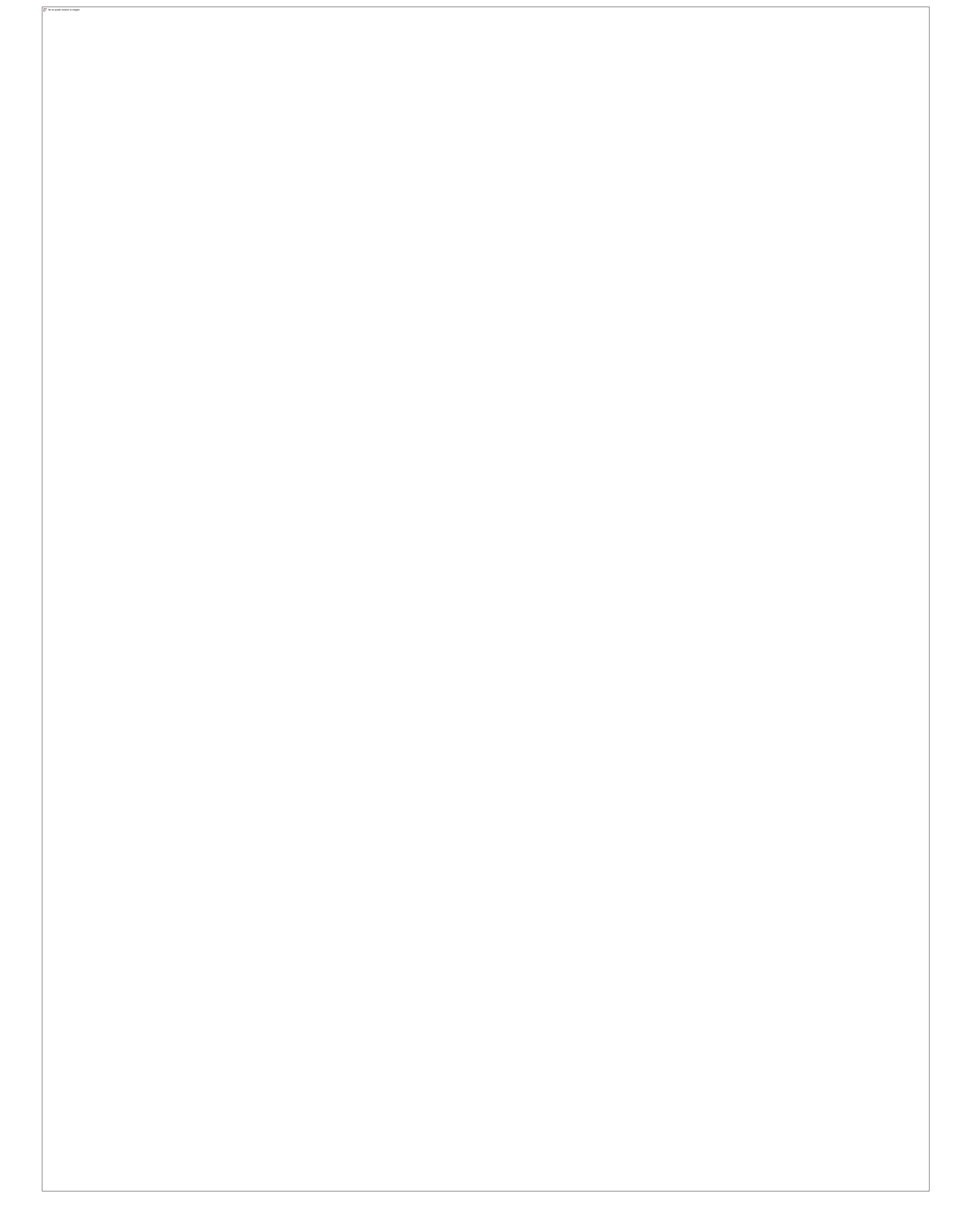

No se puede mostrar la imagen.

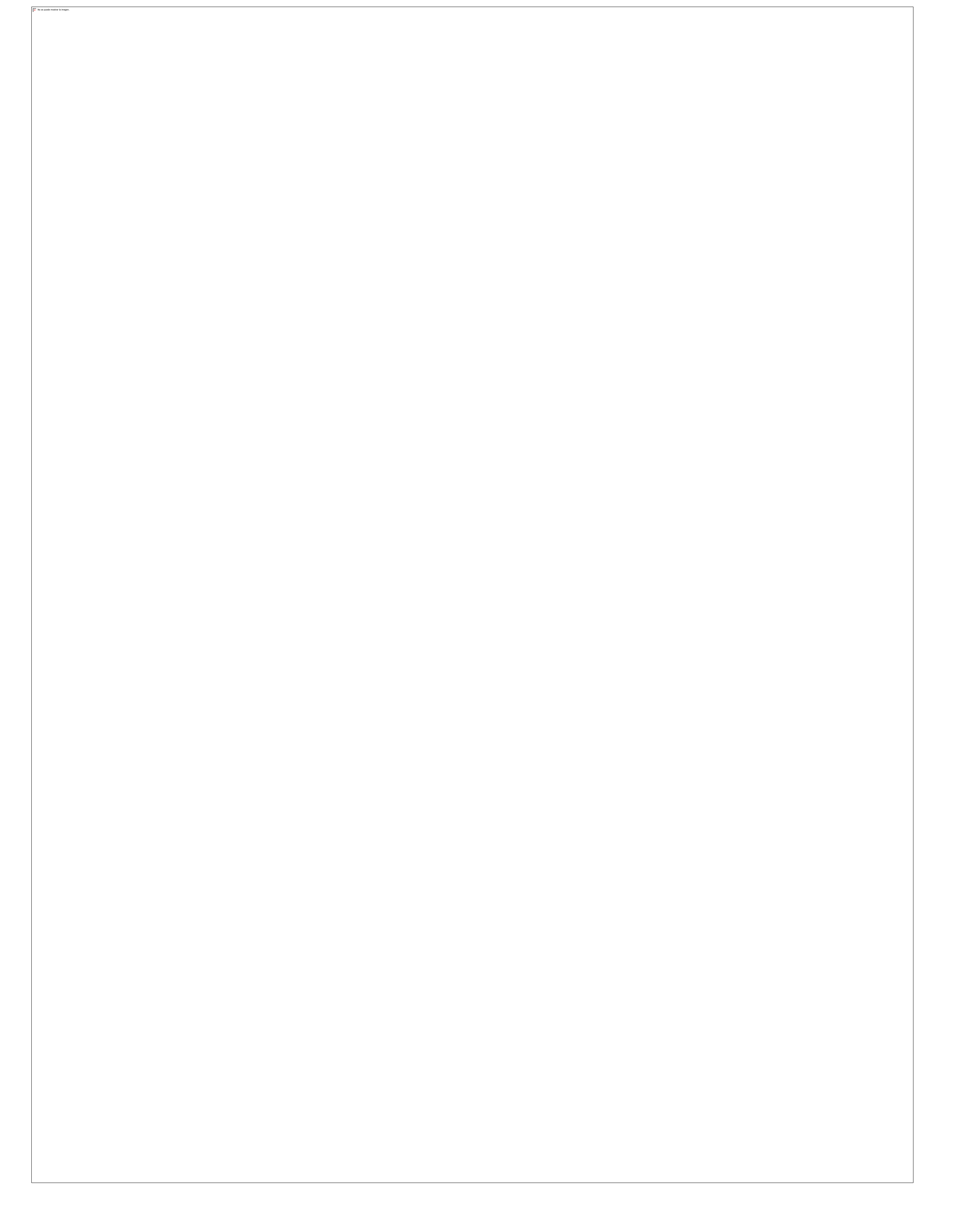

No se puede mostrar la imagen.

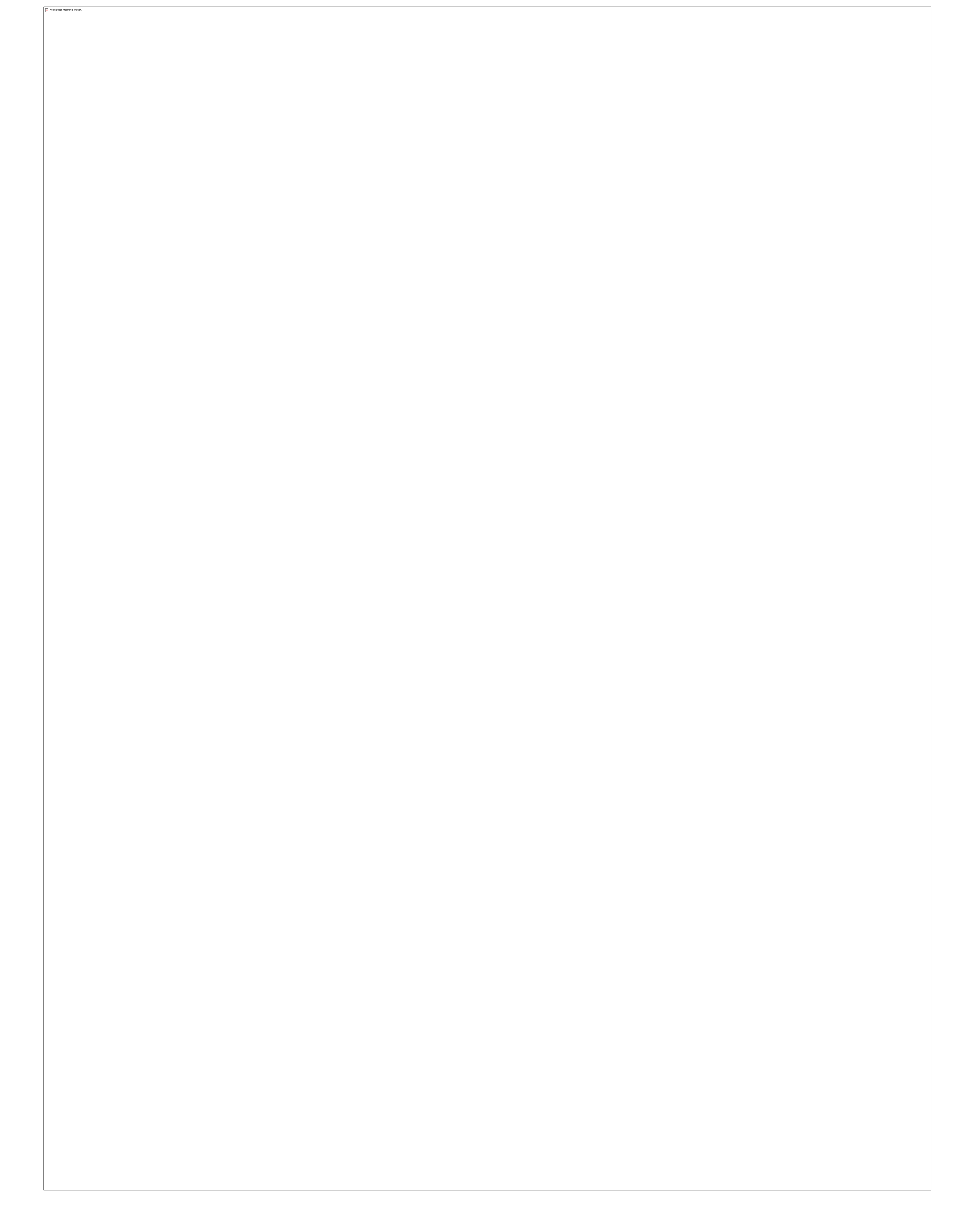

No se puede mostrar la imagen.

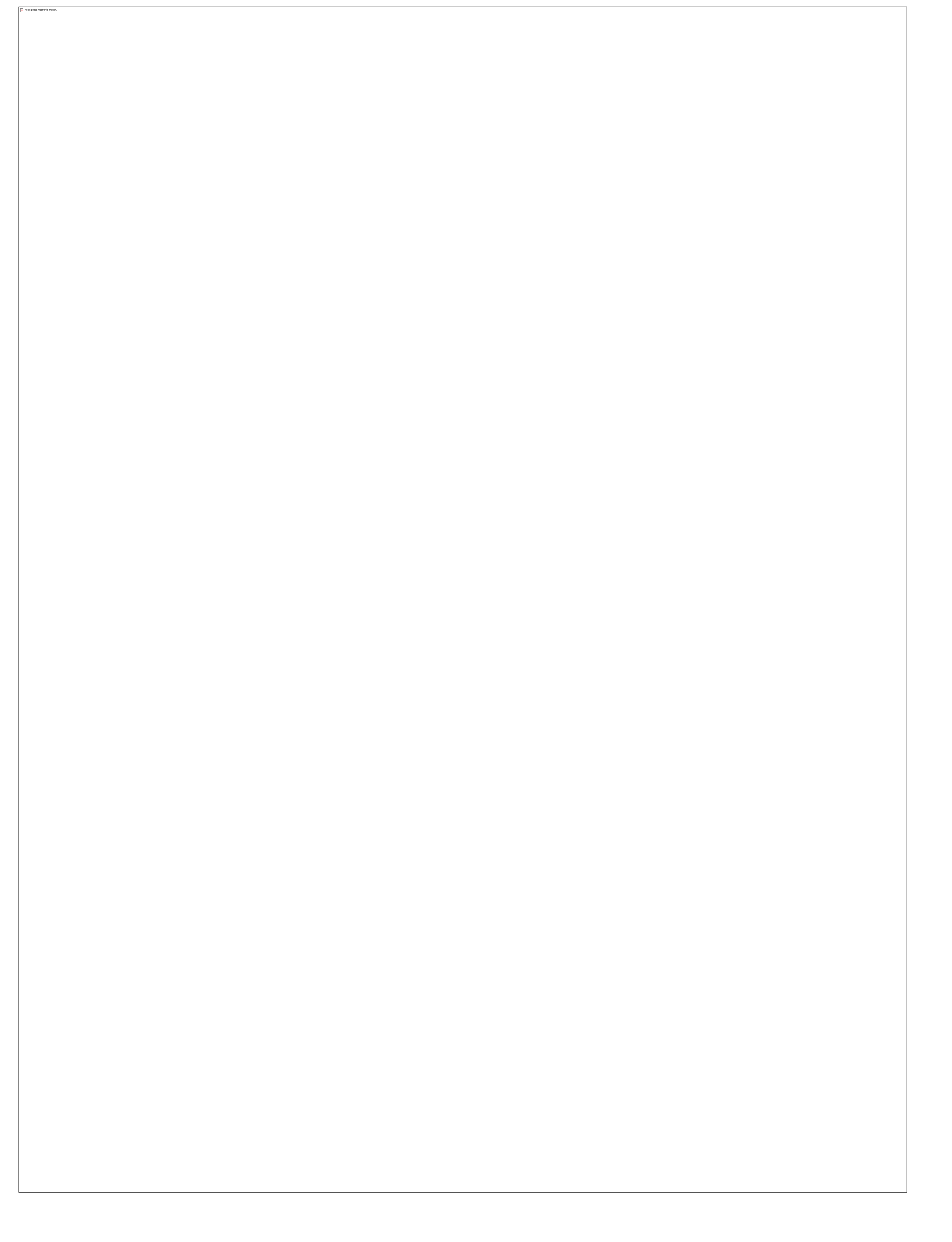

No se puede mostrar la imagen.

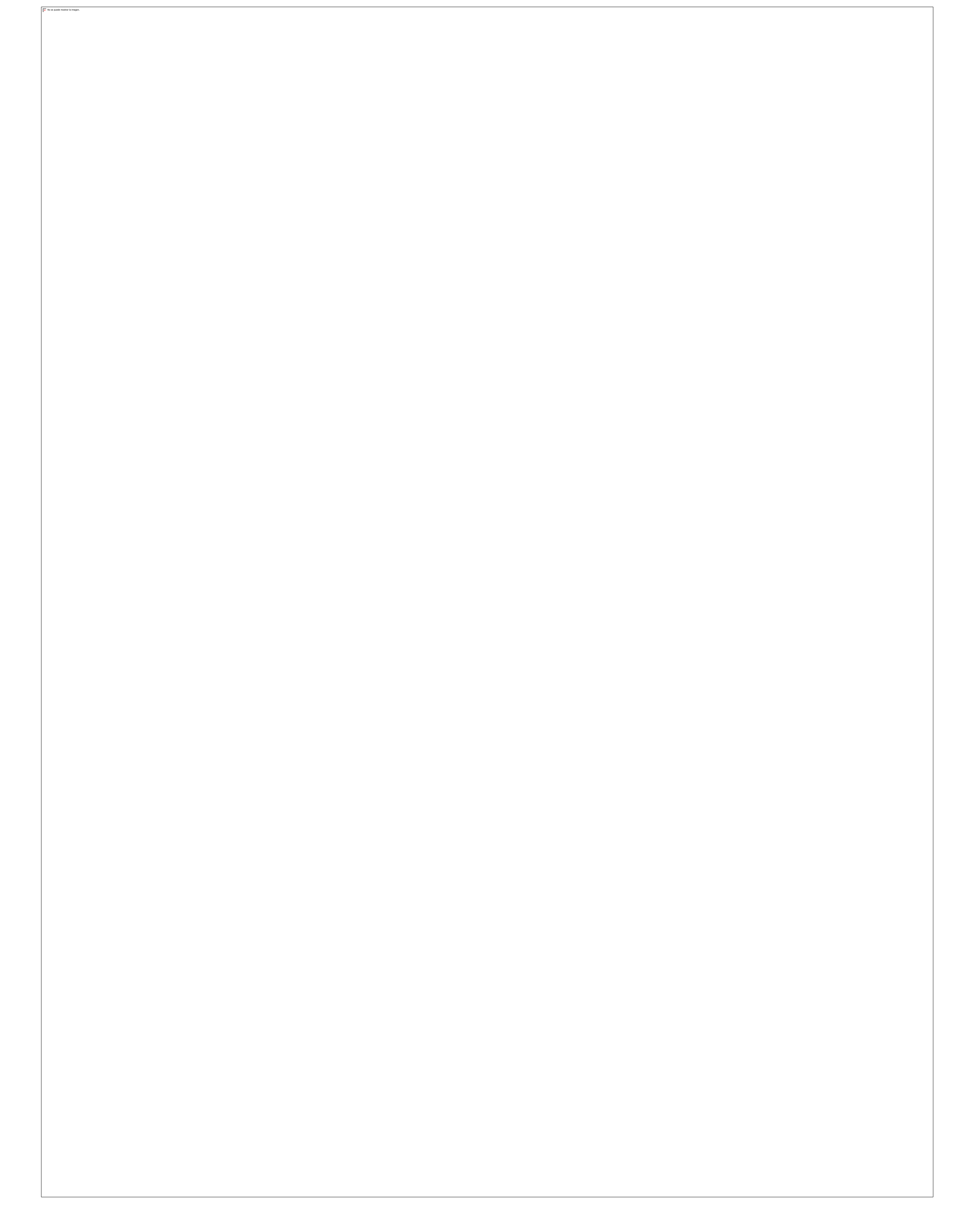

No se puede mostrar la imagen.

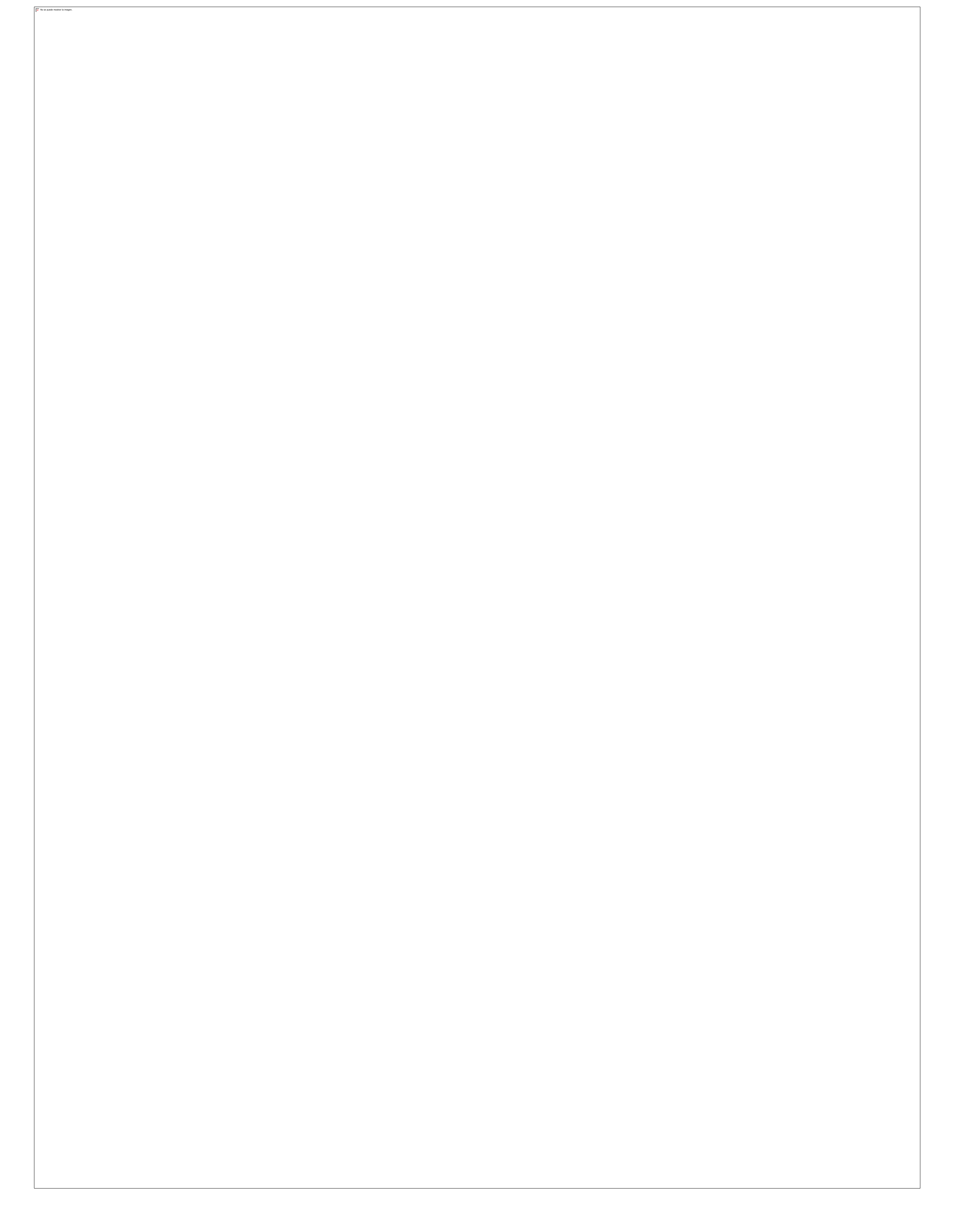

No se puede mostrar la imagen.

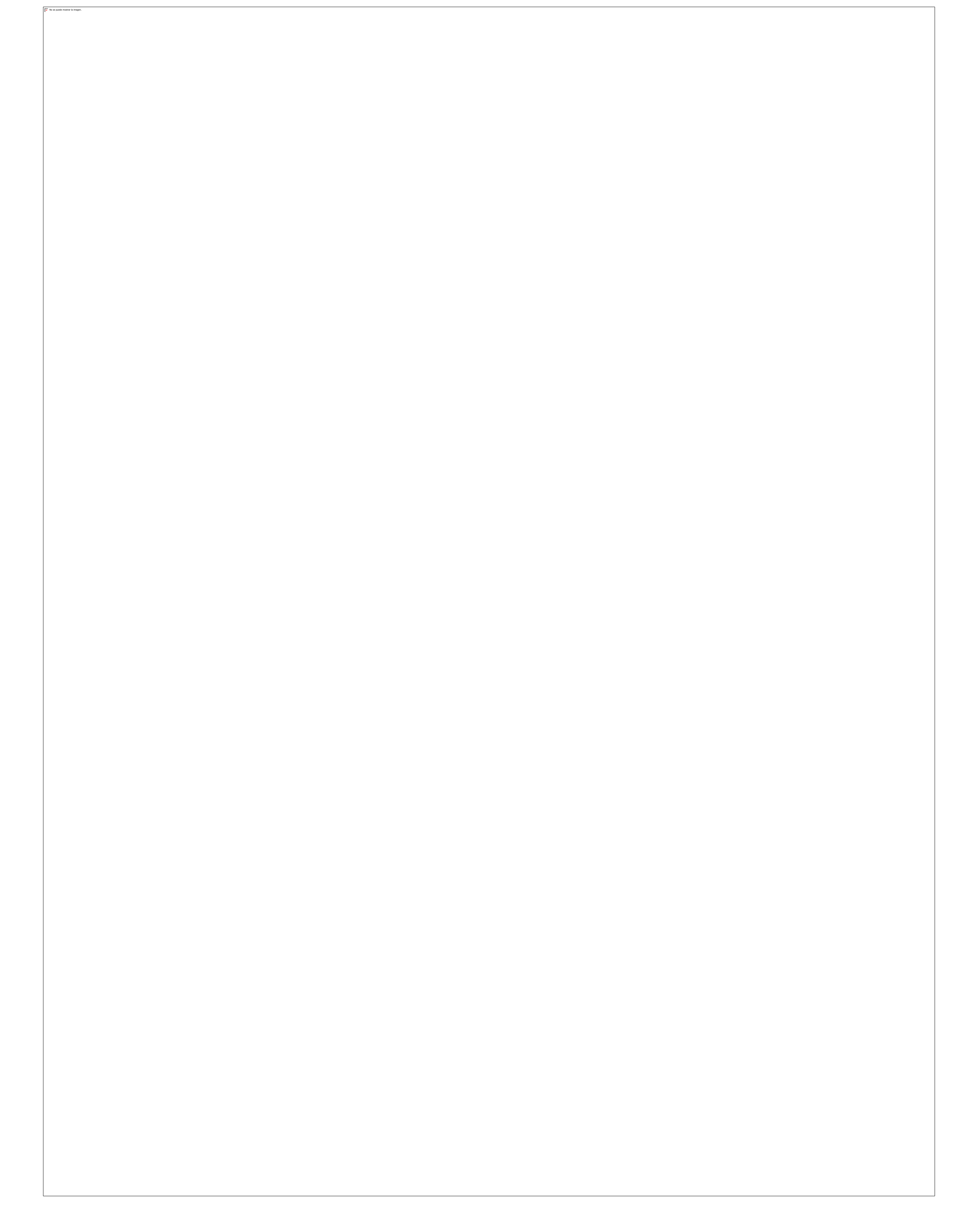

No se puede mostrar la imagen.

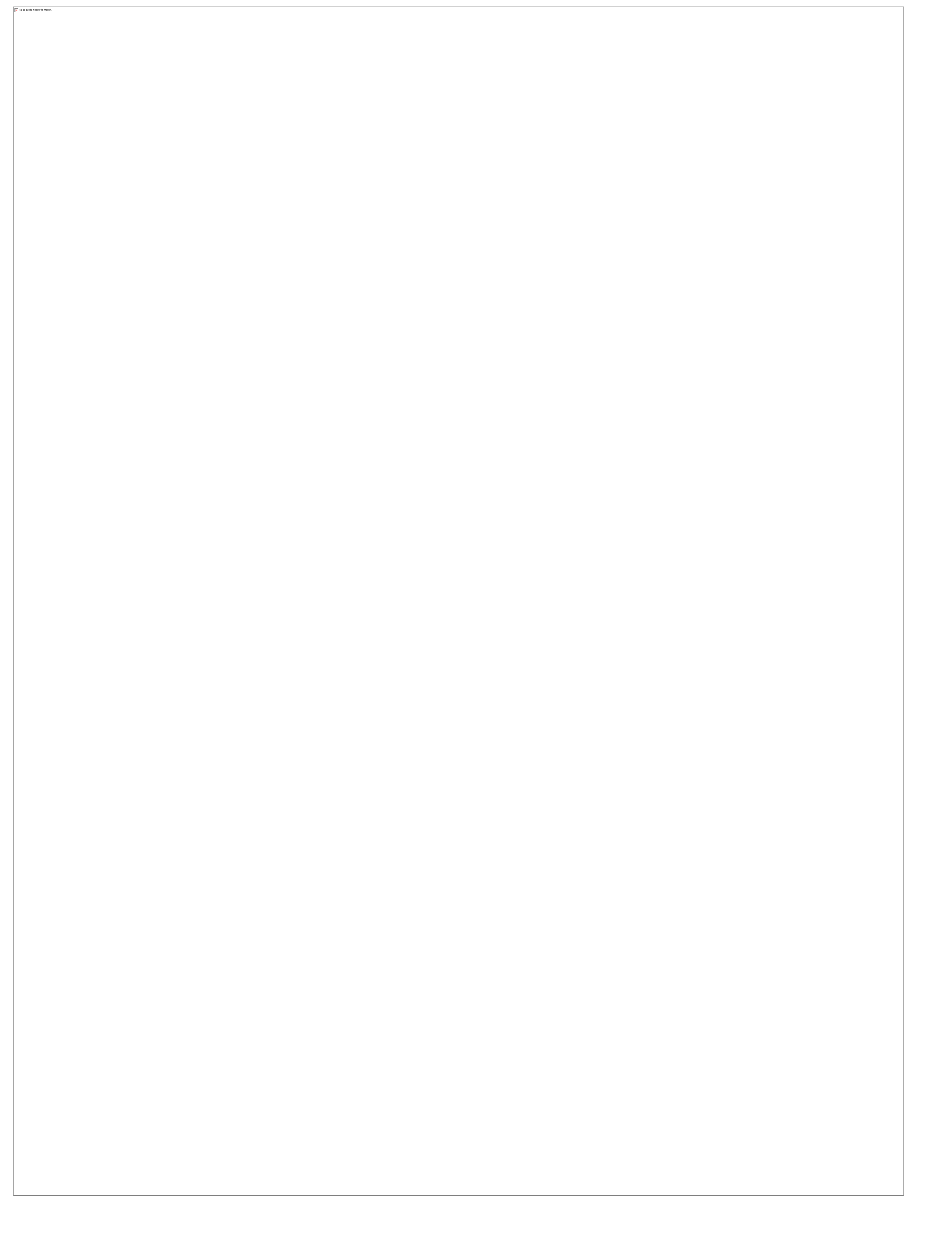

No se puede mostrar la imagen.

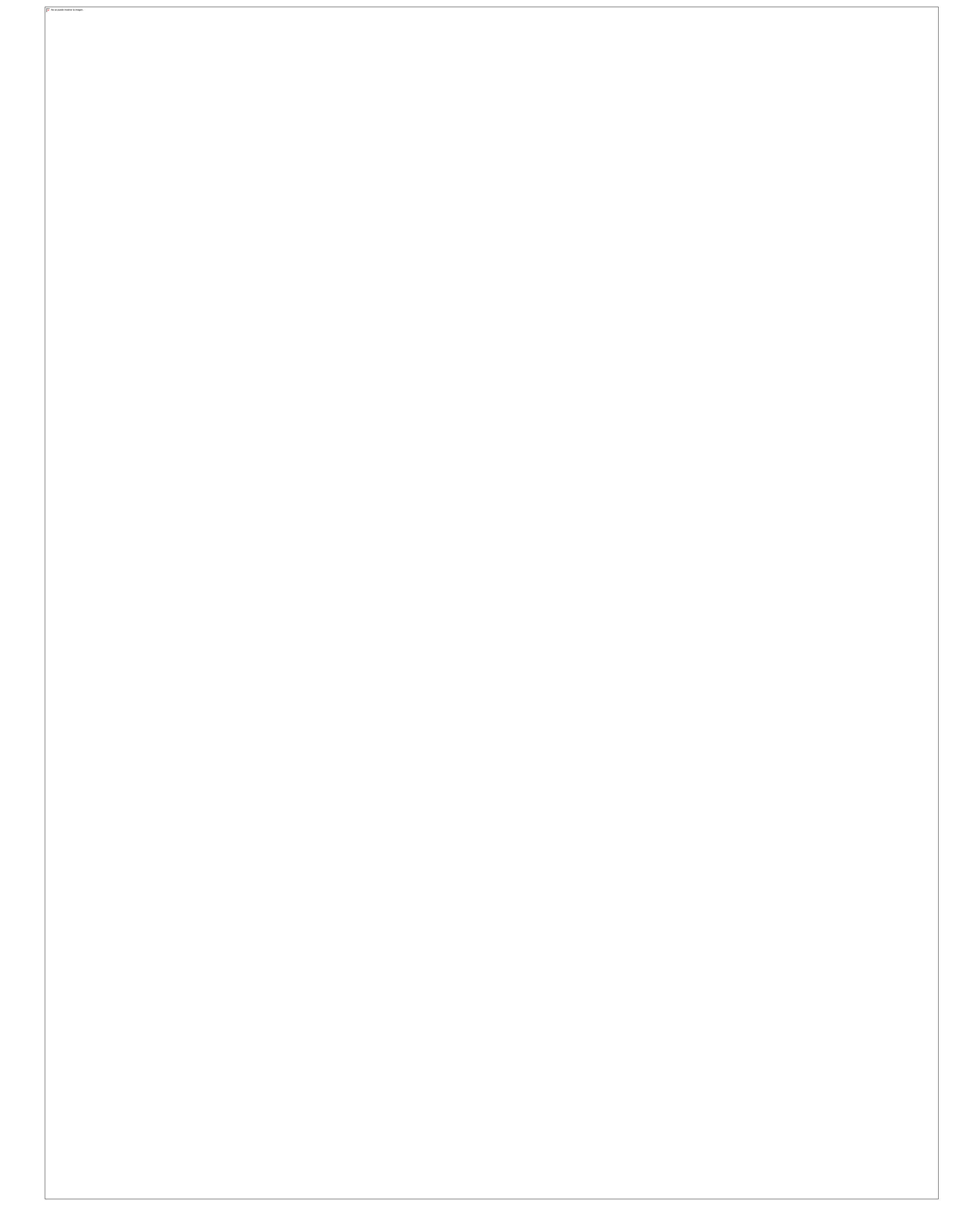

No se puede mostrar la imagen.

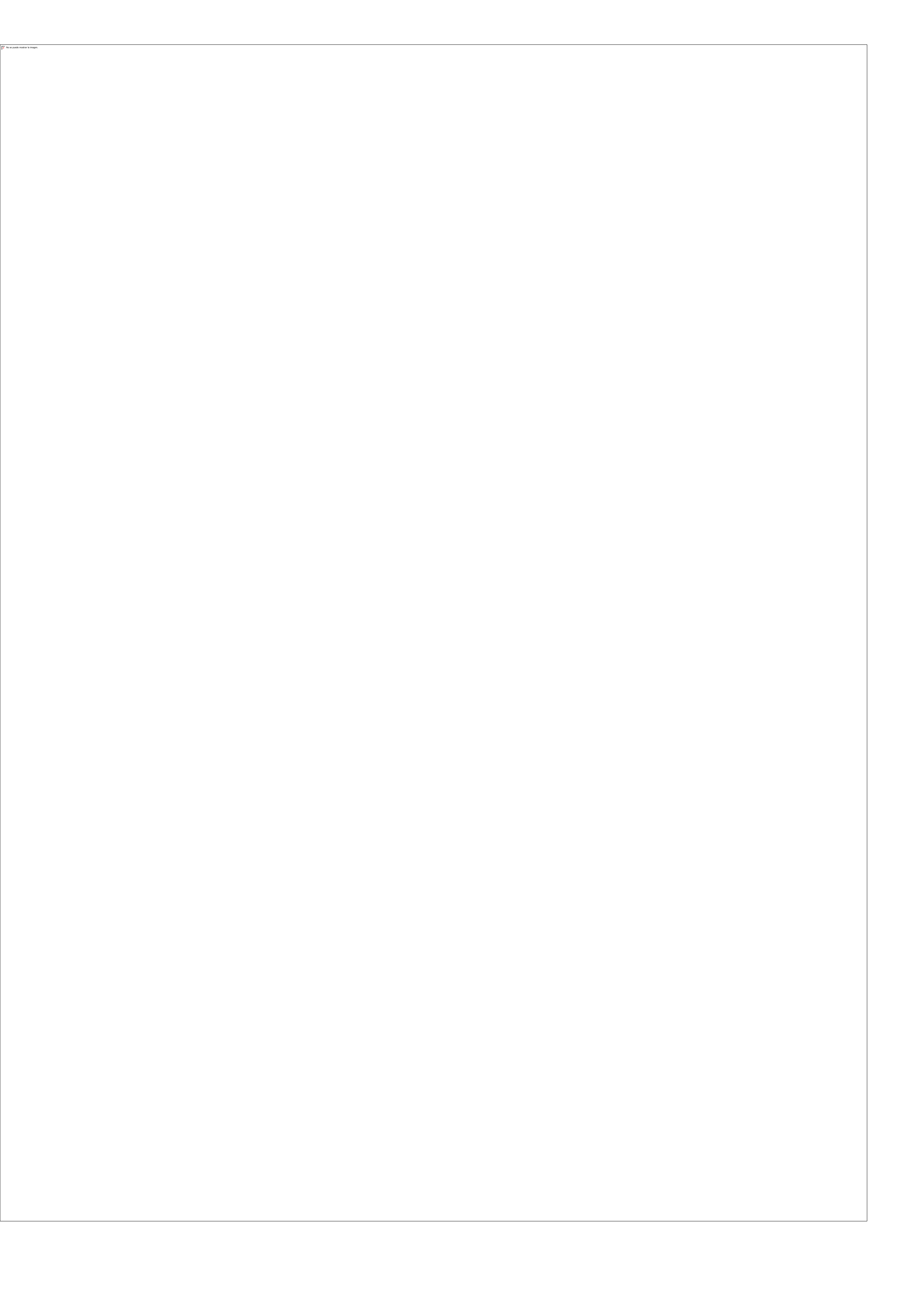

No se puede mostrar la imagen.

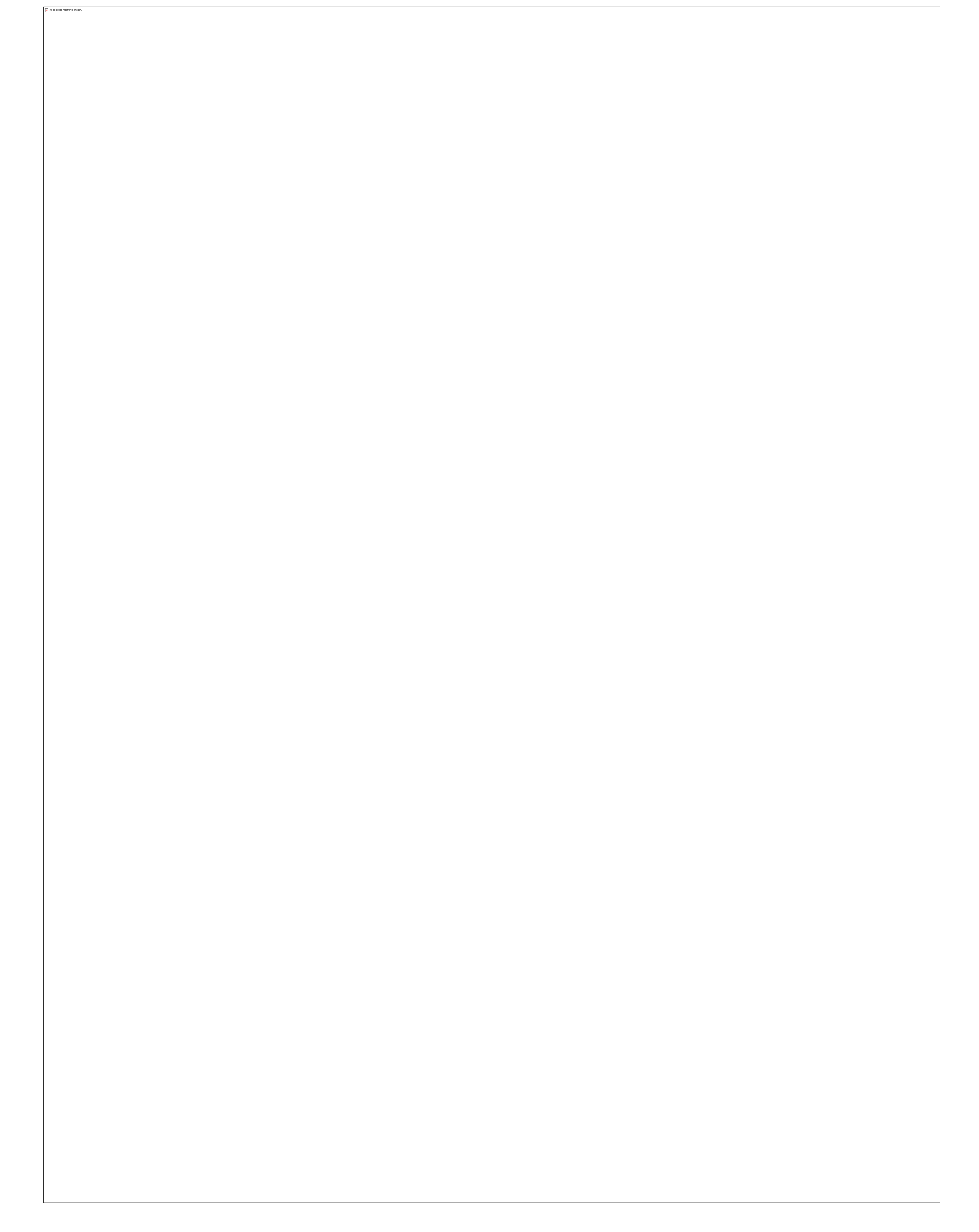

No se puede mostrar la imagen.

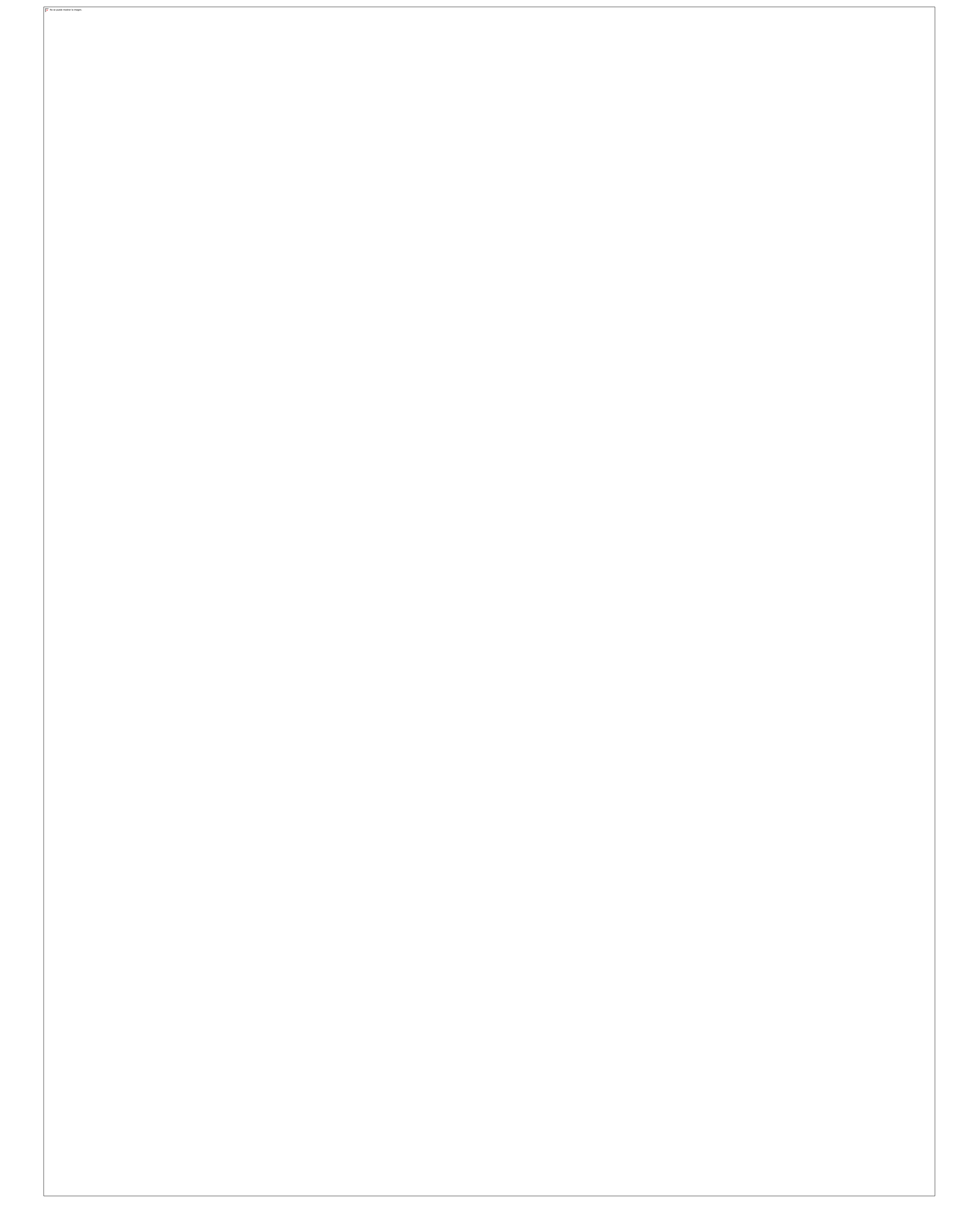

No se puede mostrar la imagen.

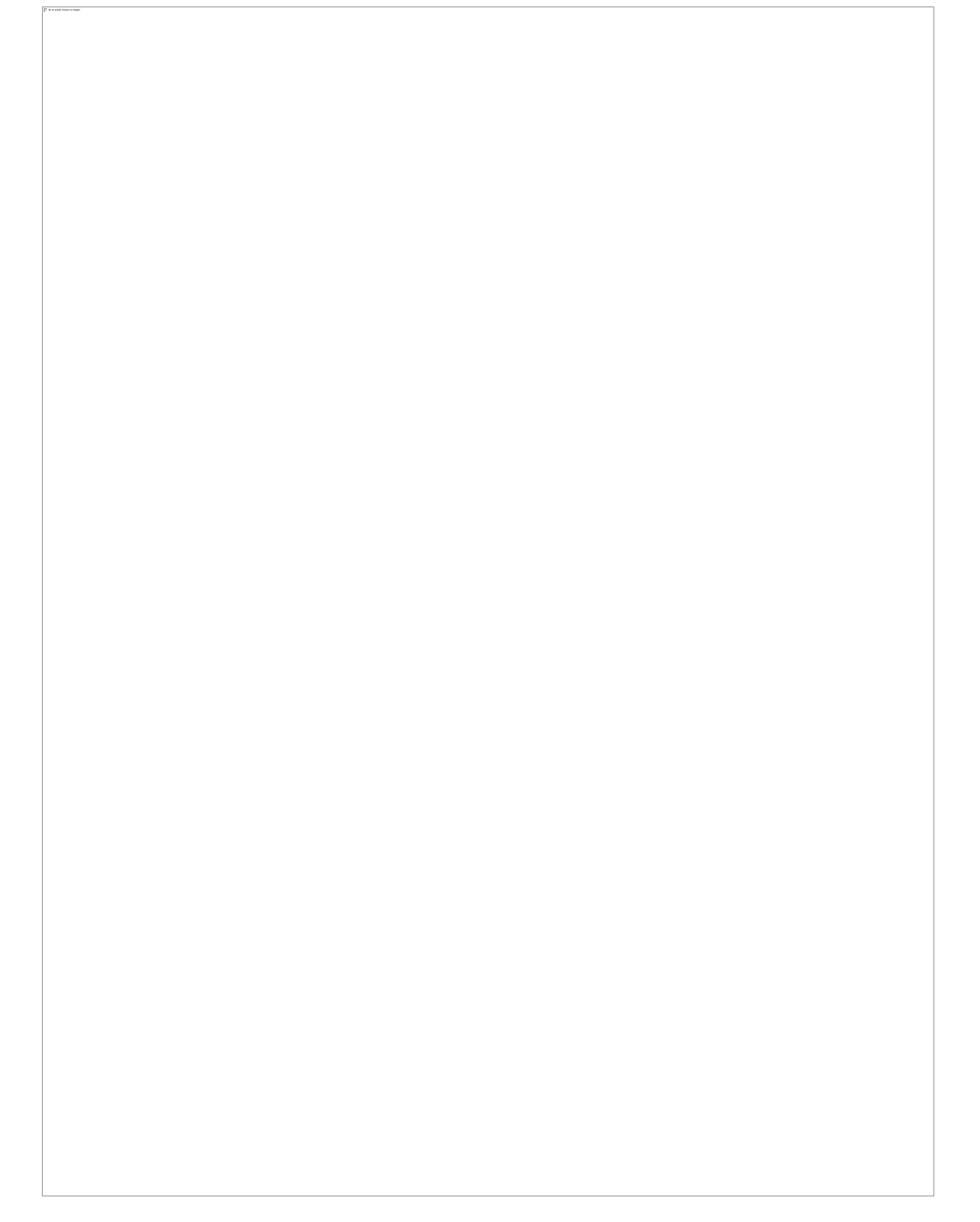

No se puede mostrar la imagen.

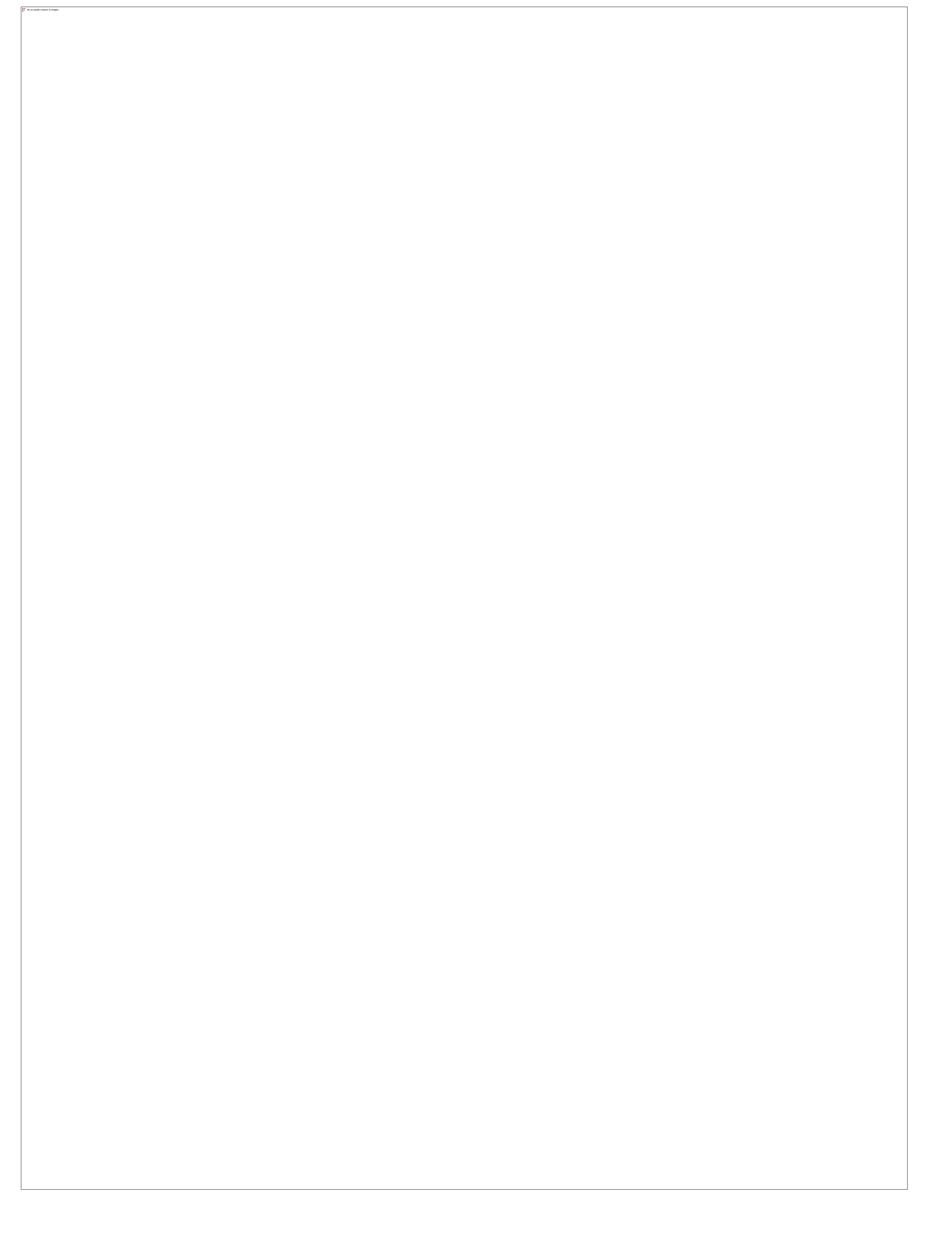

No se puede mostrar la imagen.

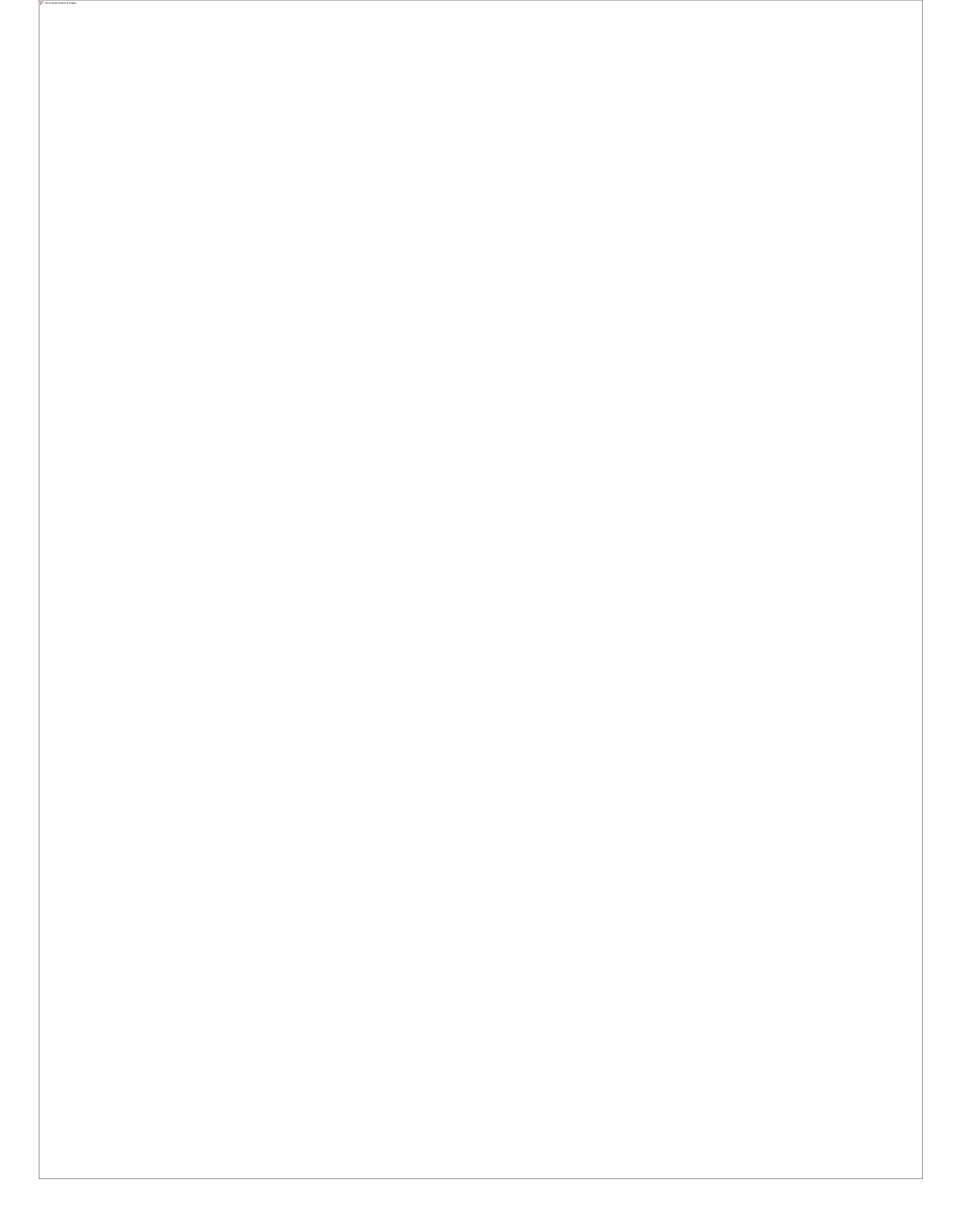

No se puede mostrar la imagen.

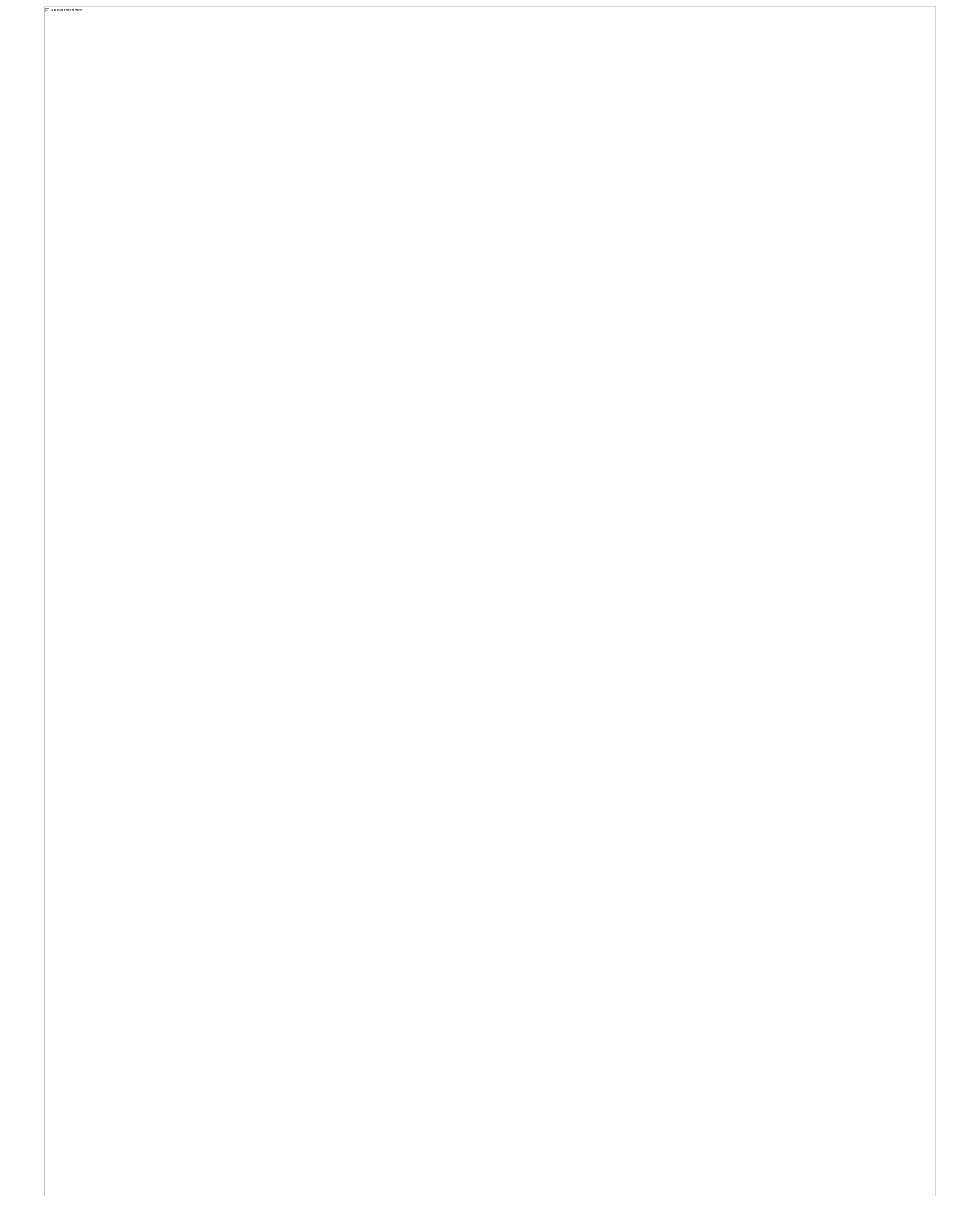

No se puede mostrar la imagen.

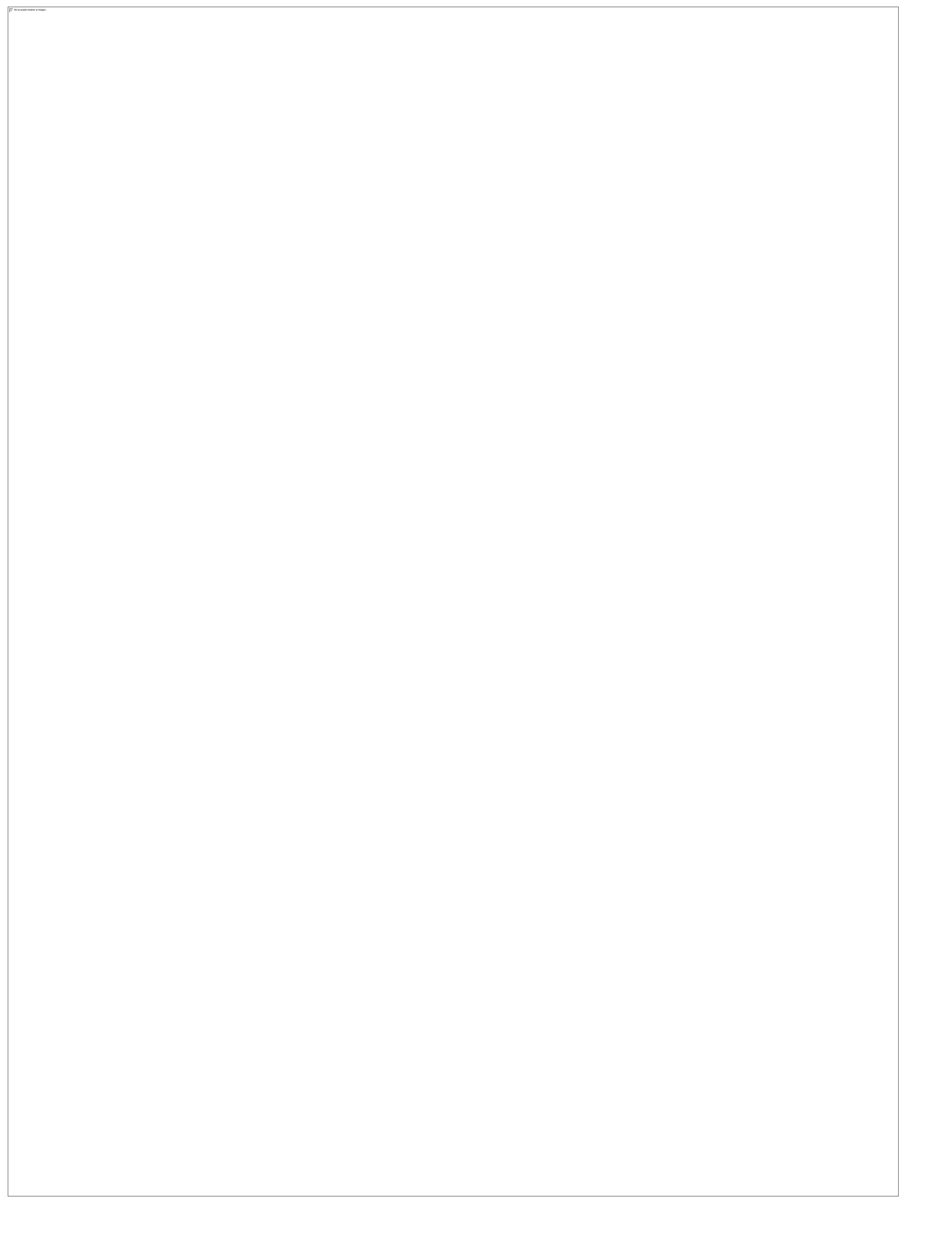

No se puede mostrar la imagen.

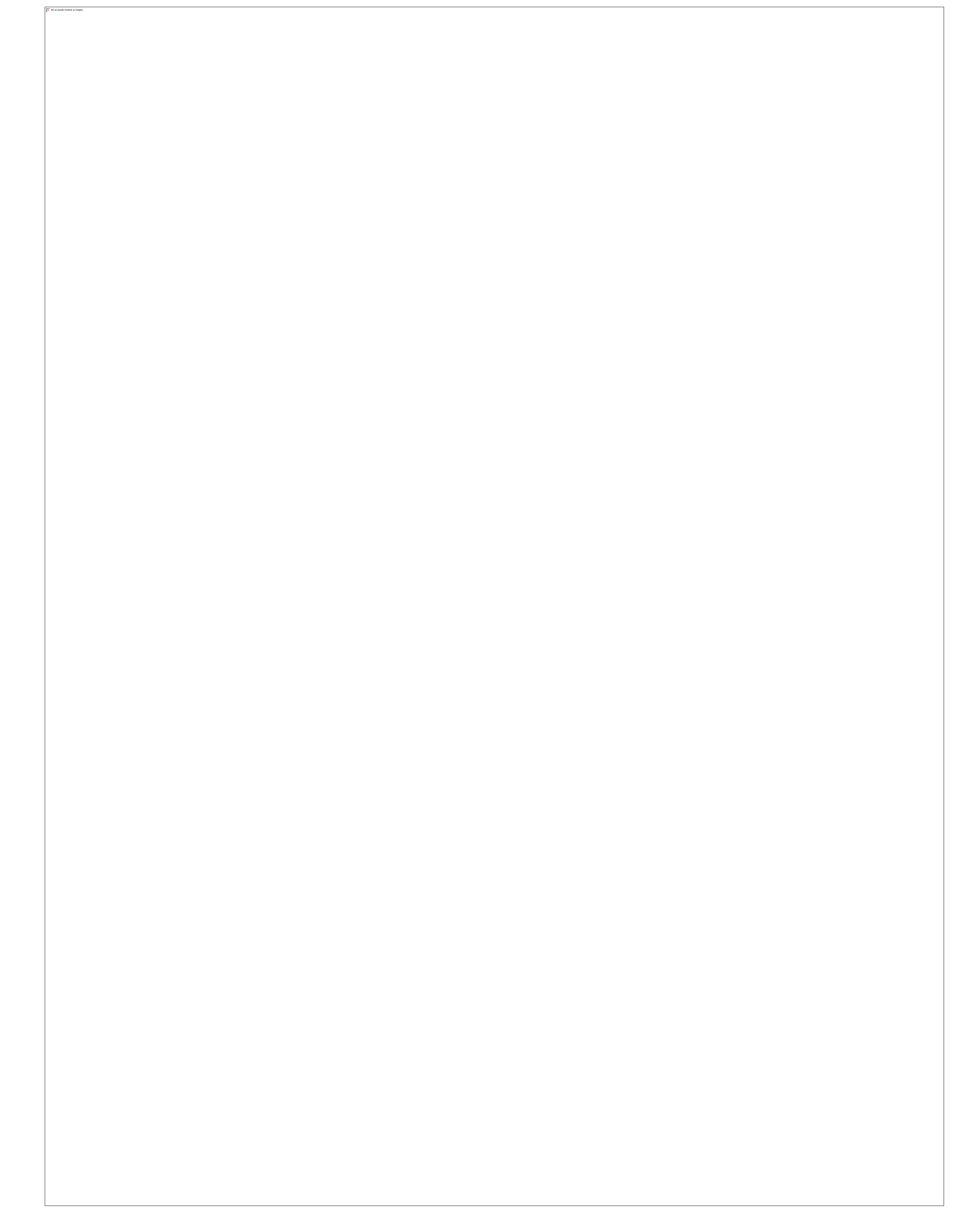

No se puede mostrar la imagen.

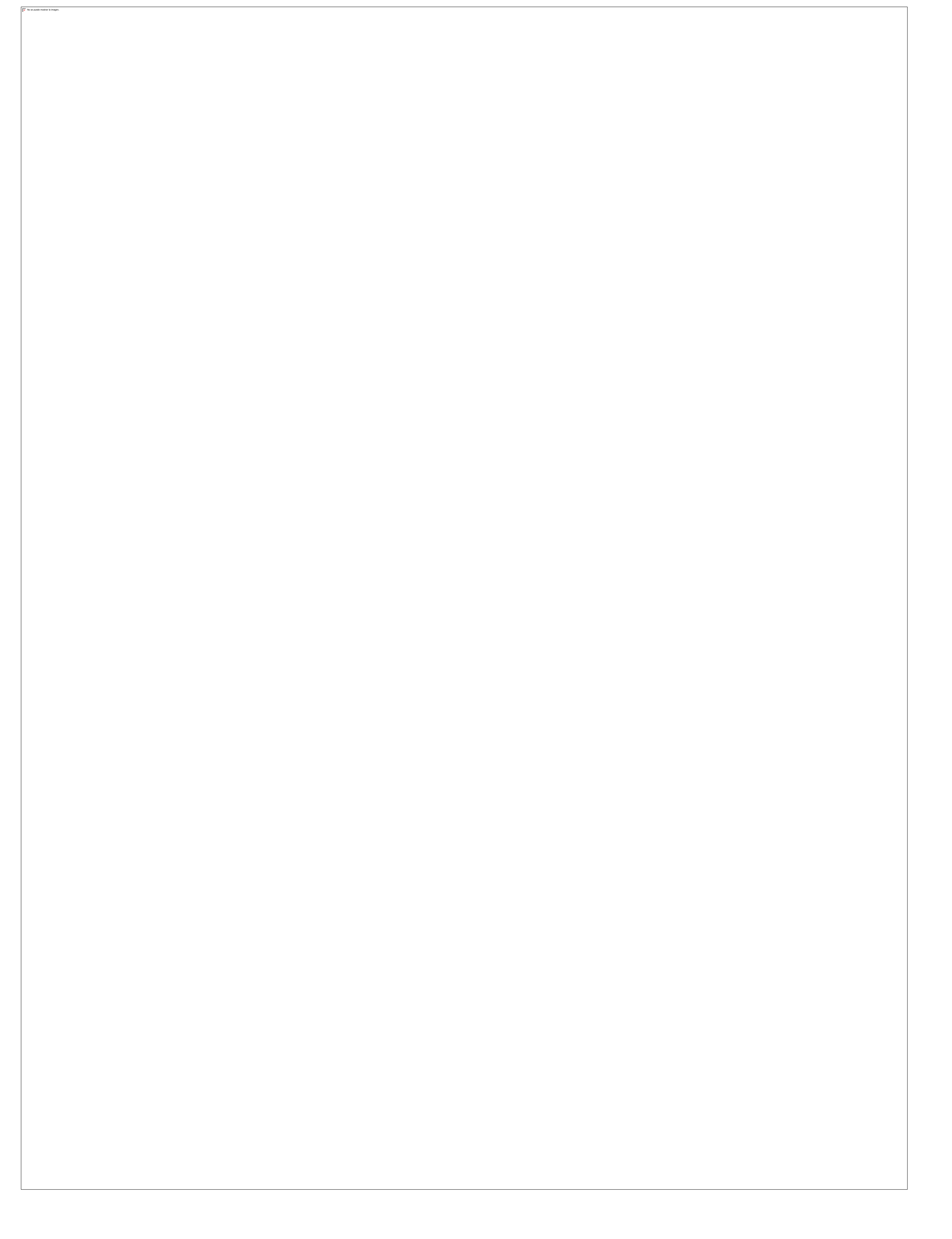

No se puede mostrar la imagen.

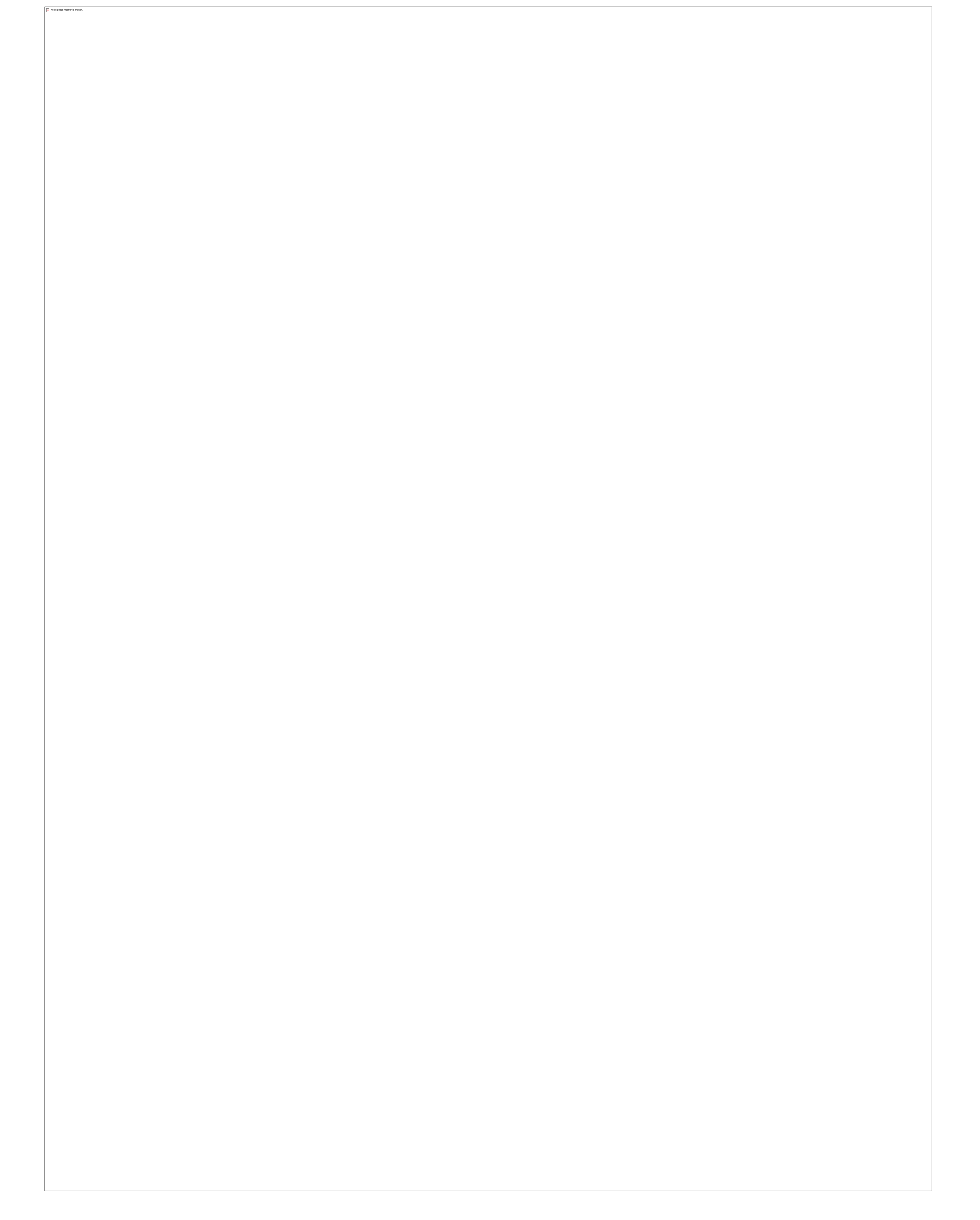

No se puede mostrar la imagen.

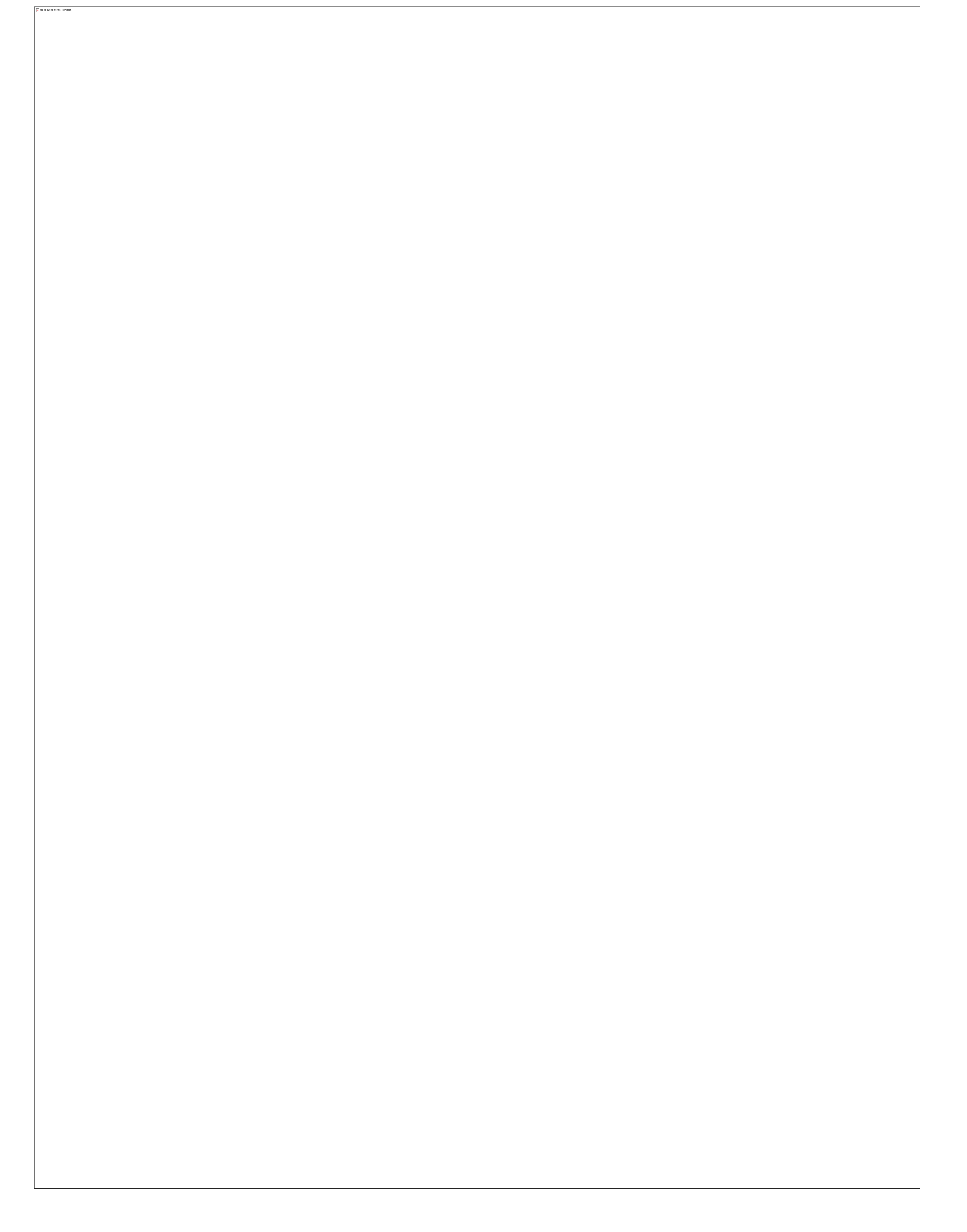

No se puede mostrar la imagen.

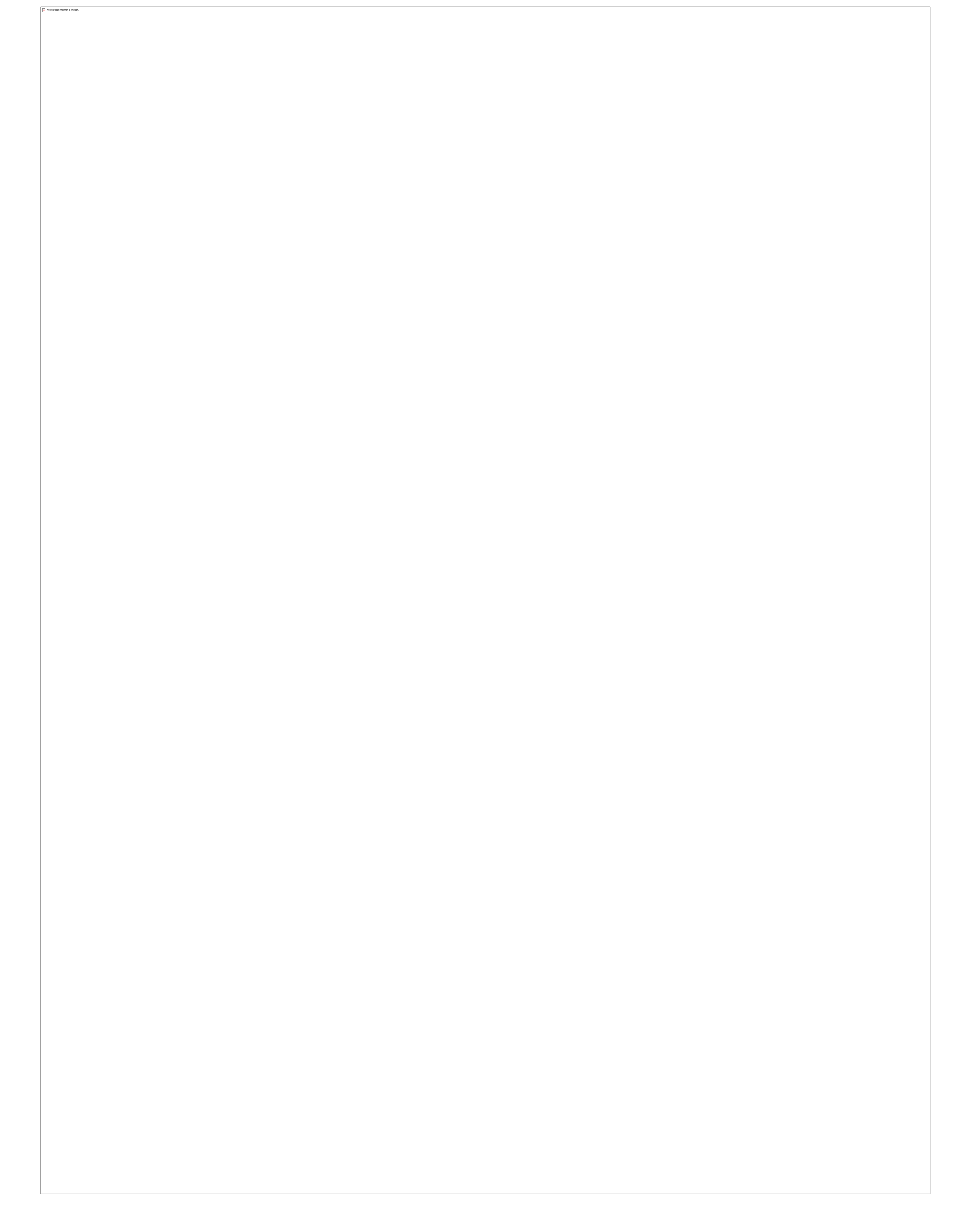

No se puede mostrar la imagen.

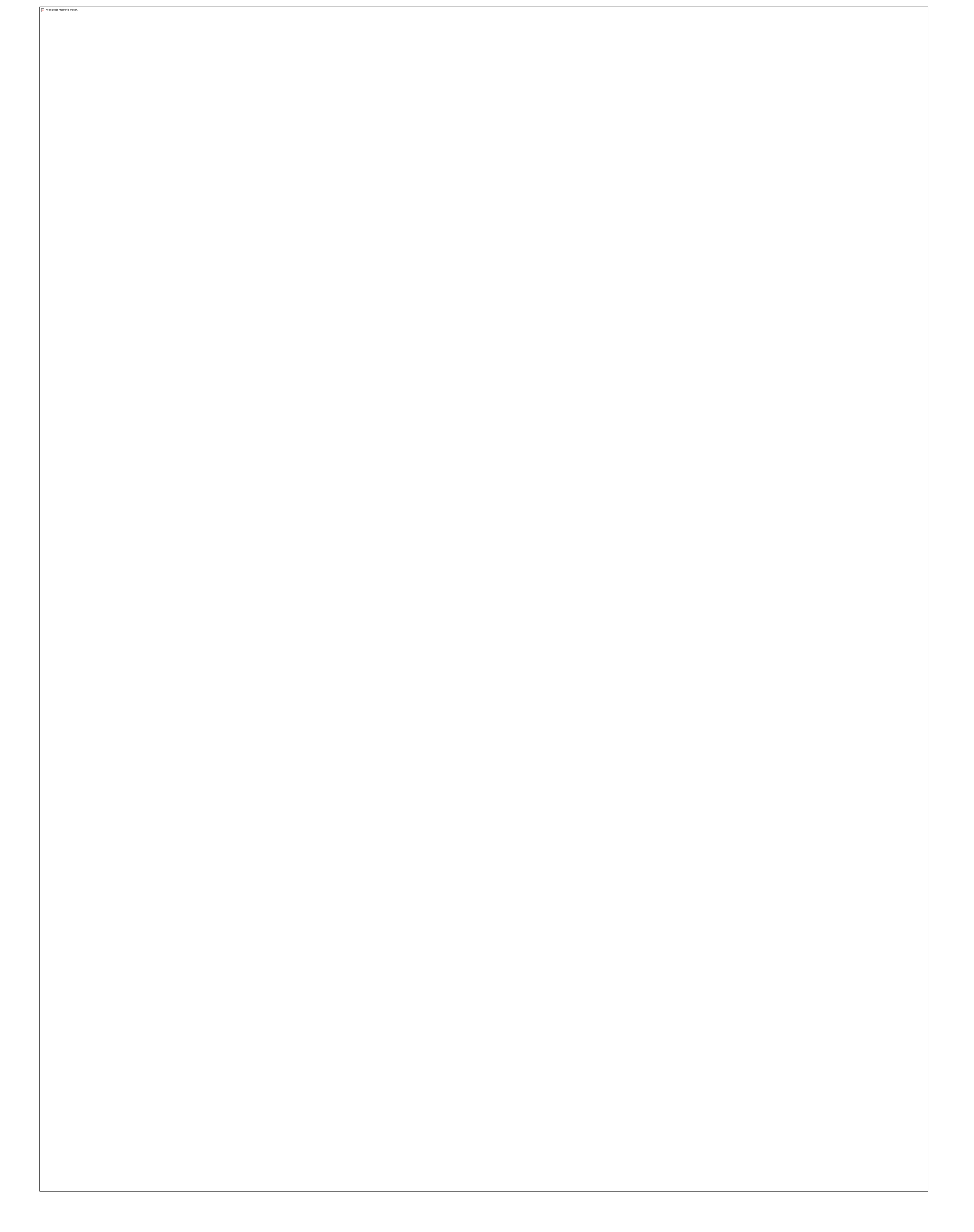

No se puede mostrar la imagen.

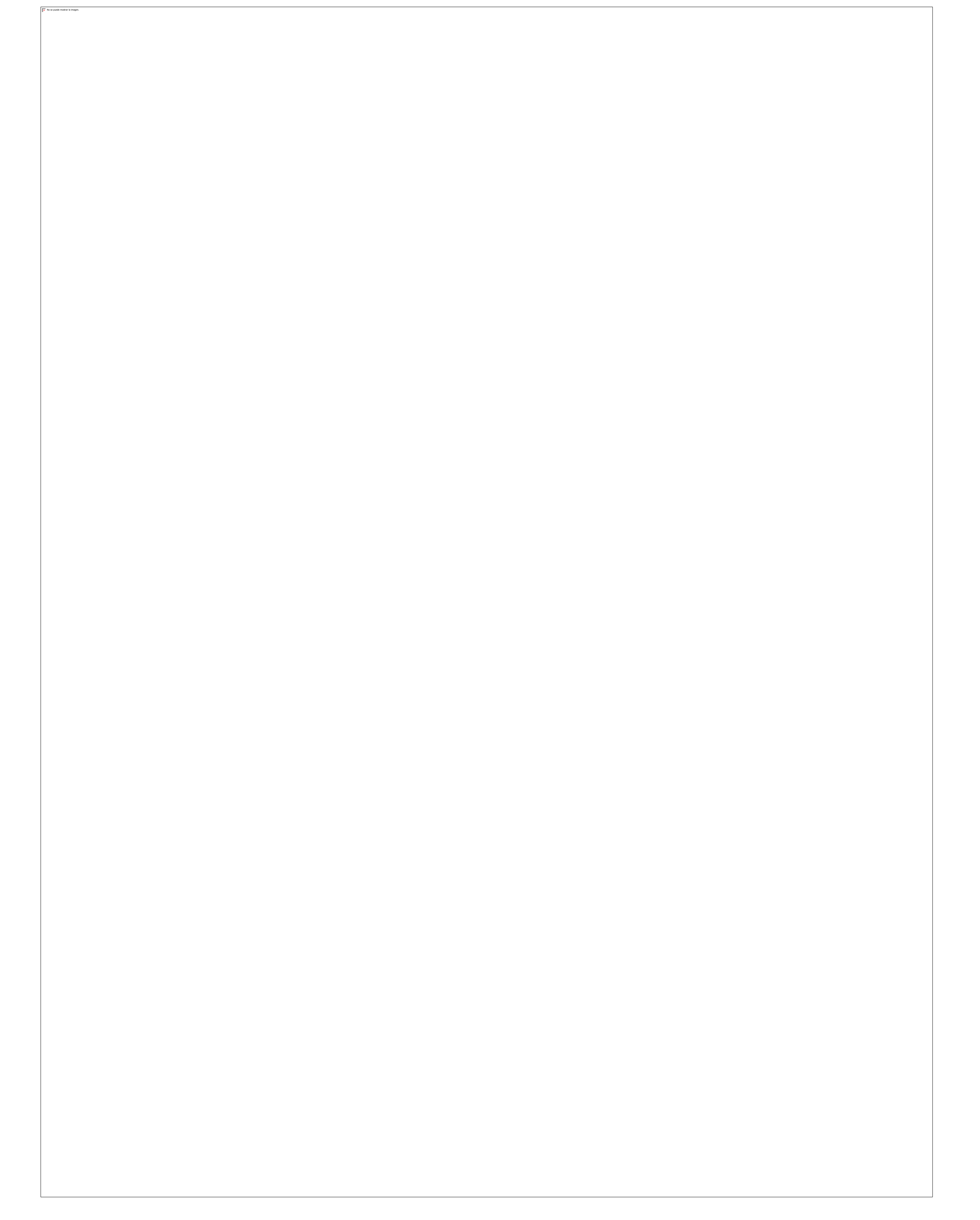

No se puede mostrar la imagen.

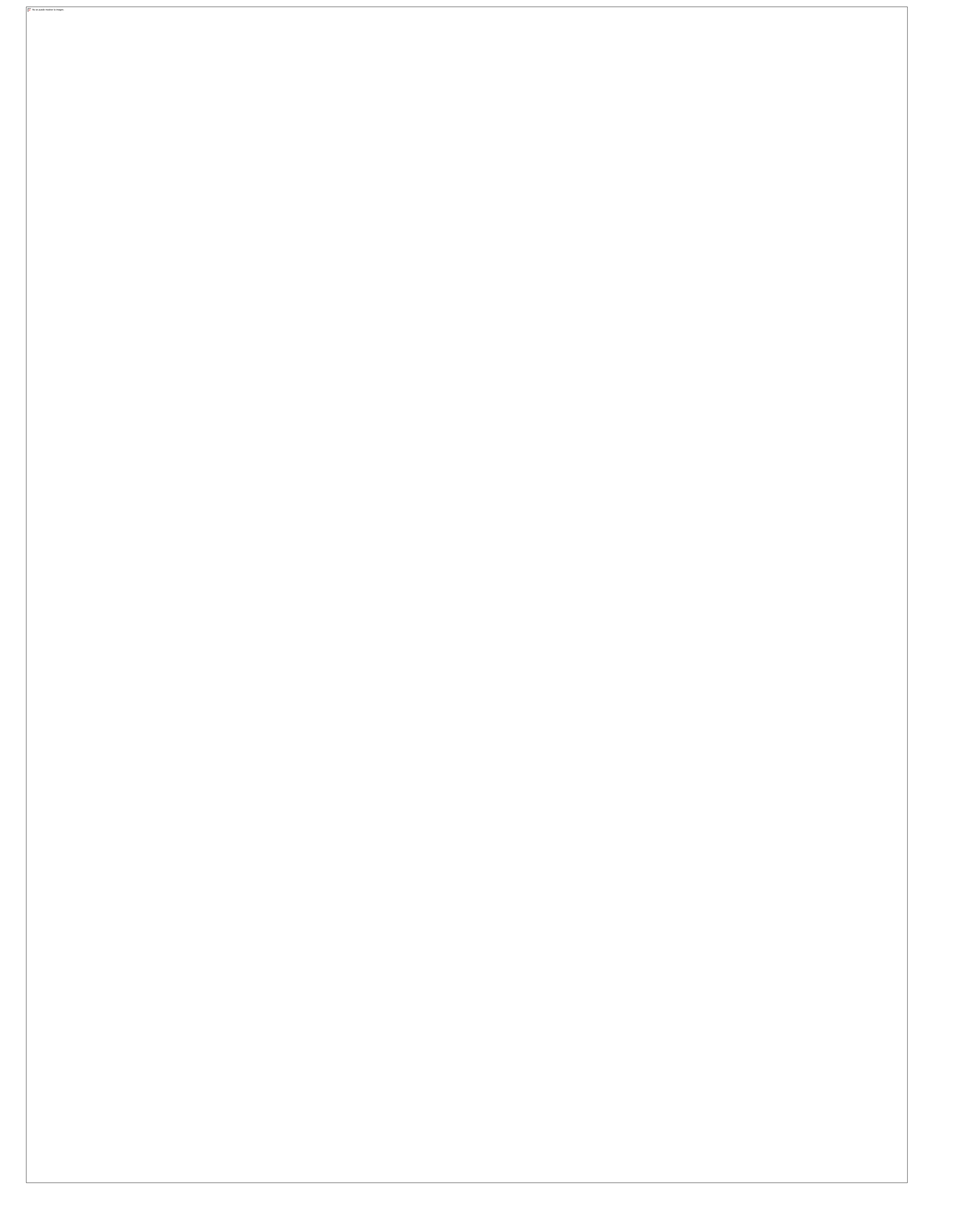

No se puede mostrar la imagen.

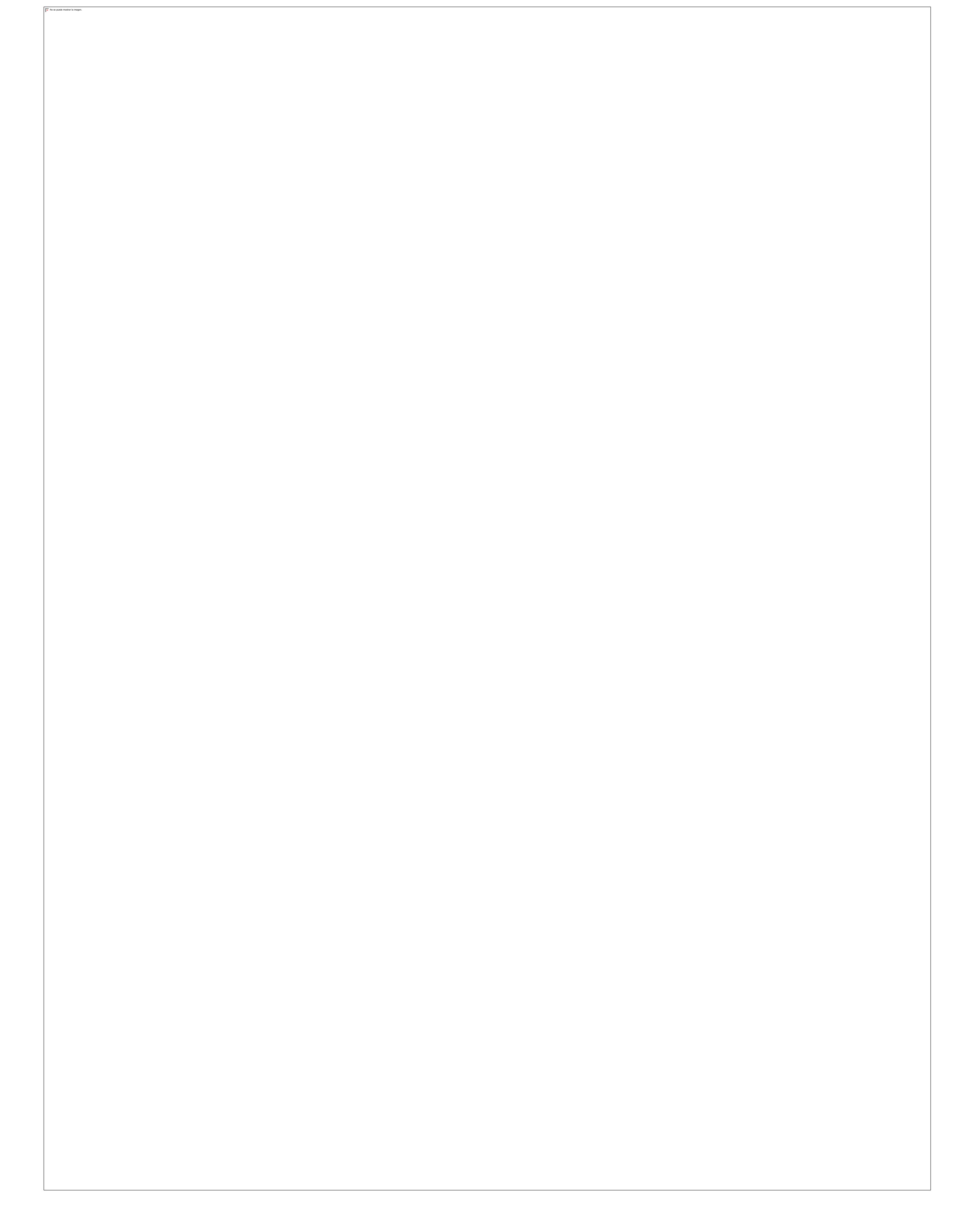

No se puede mostrar la imagen.

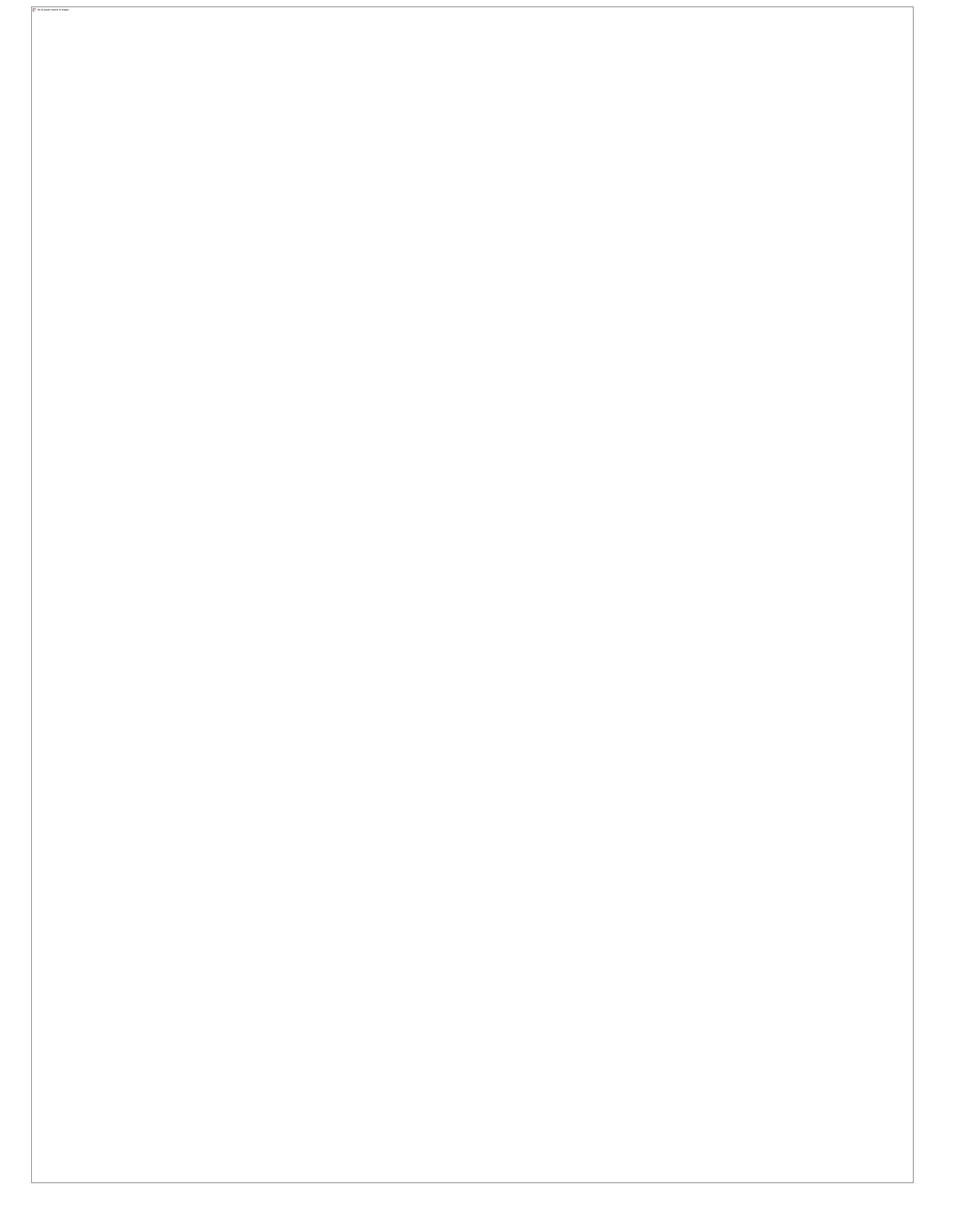

No se puede mostrar la imagen.

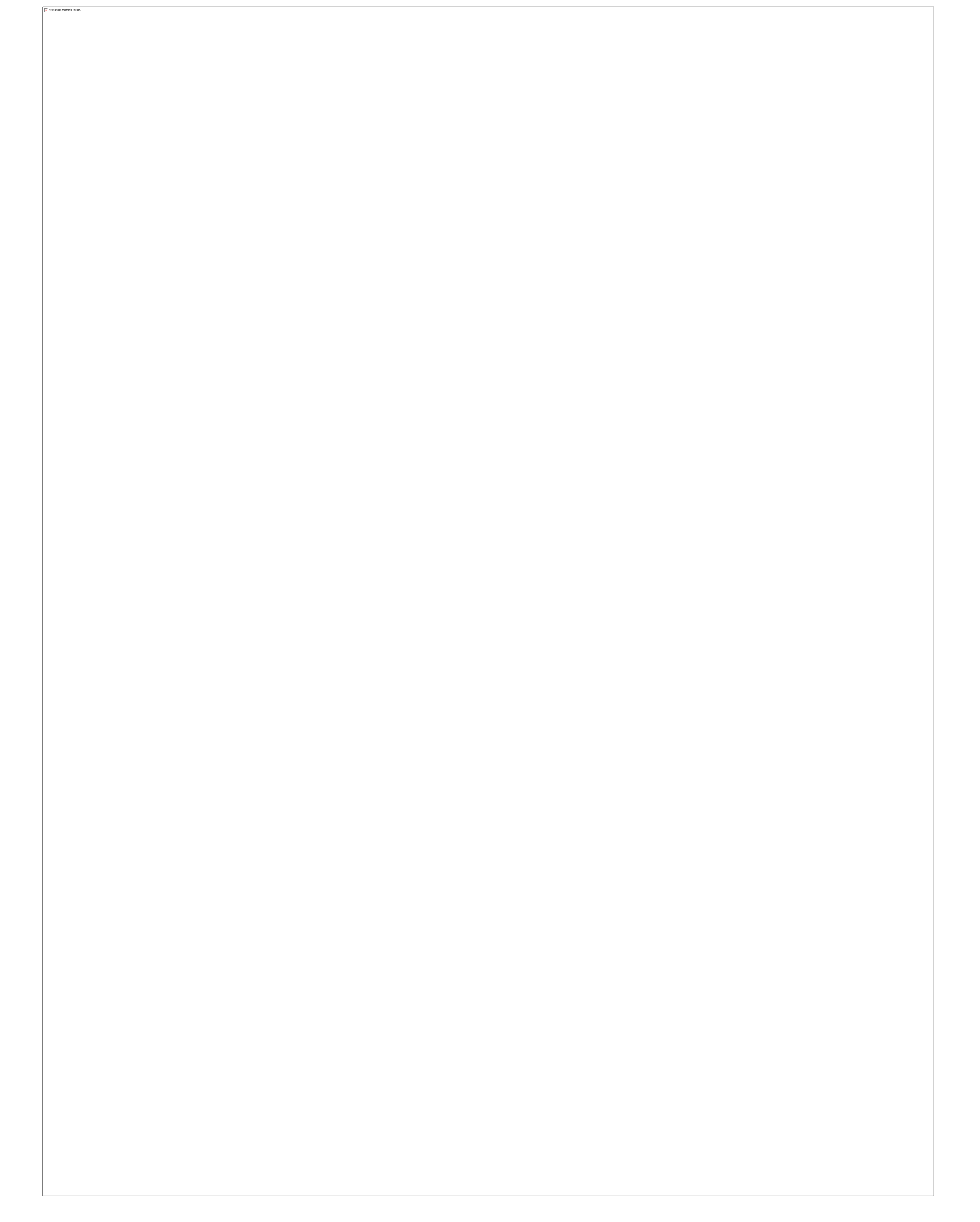

No se puede mostrar la imagen.

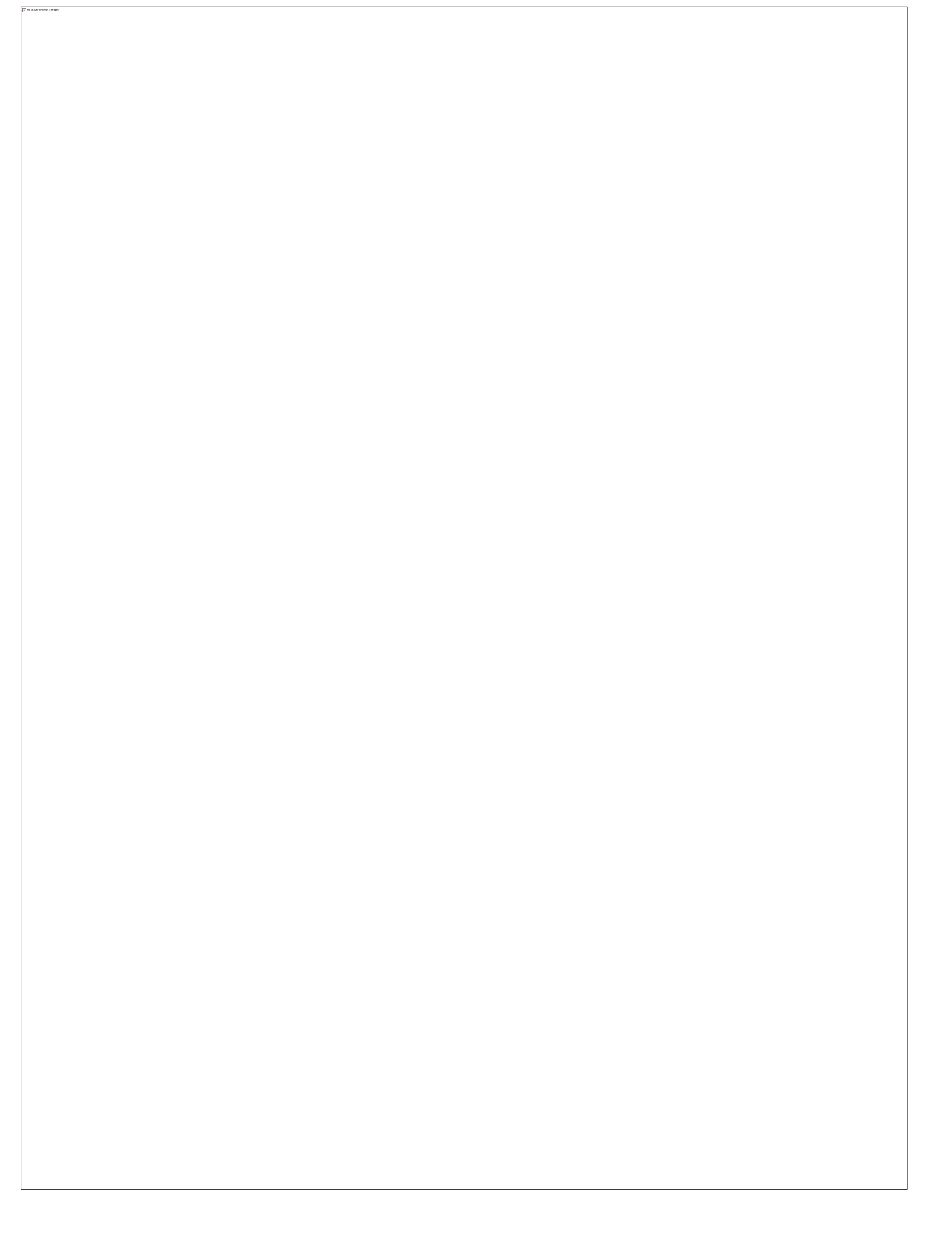

No se puede mostrar la imagen.

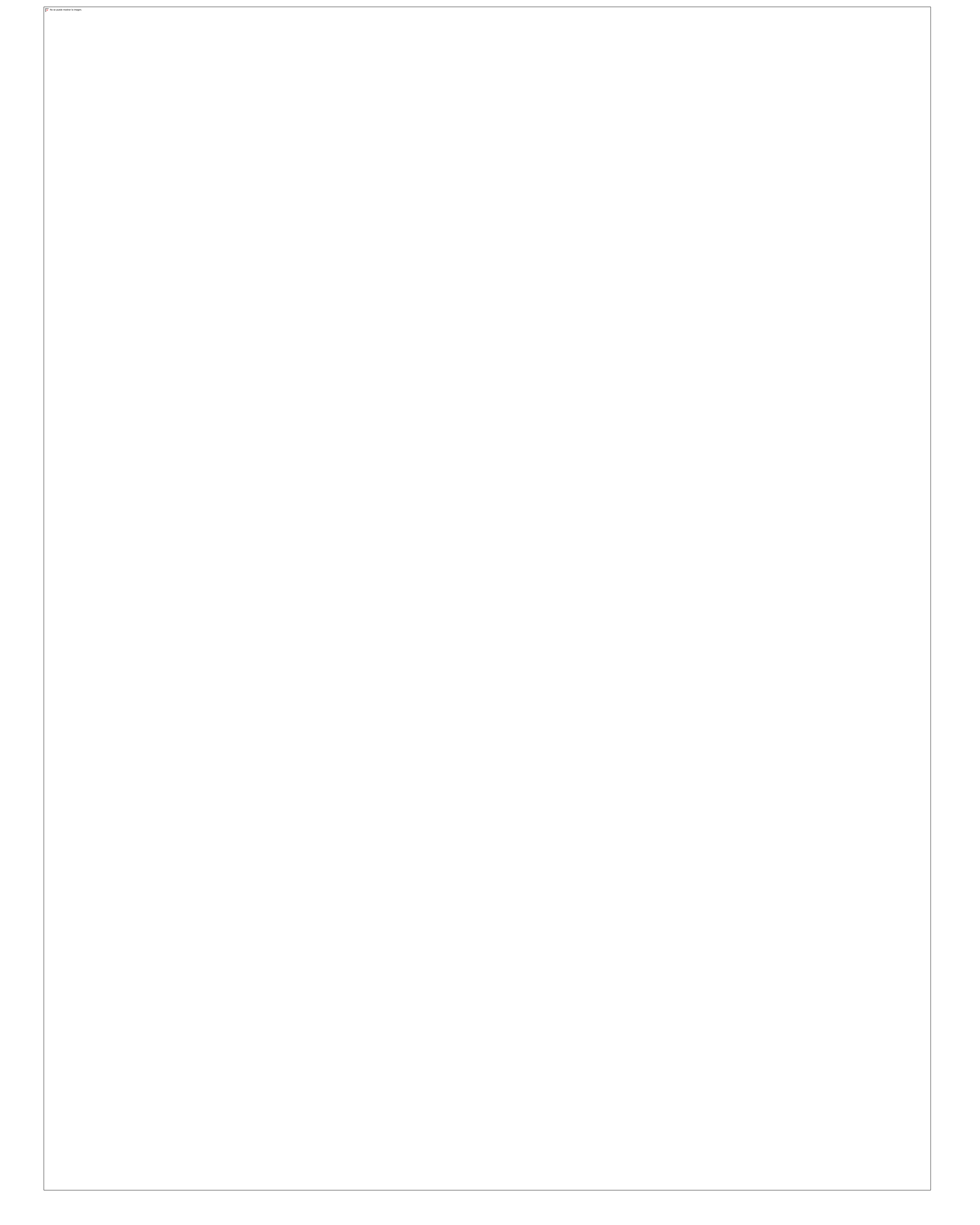

No se puede mostrar la imagen.

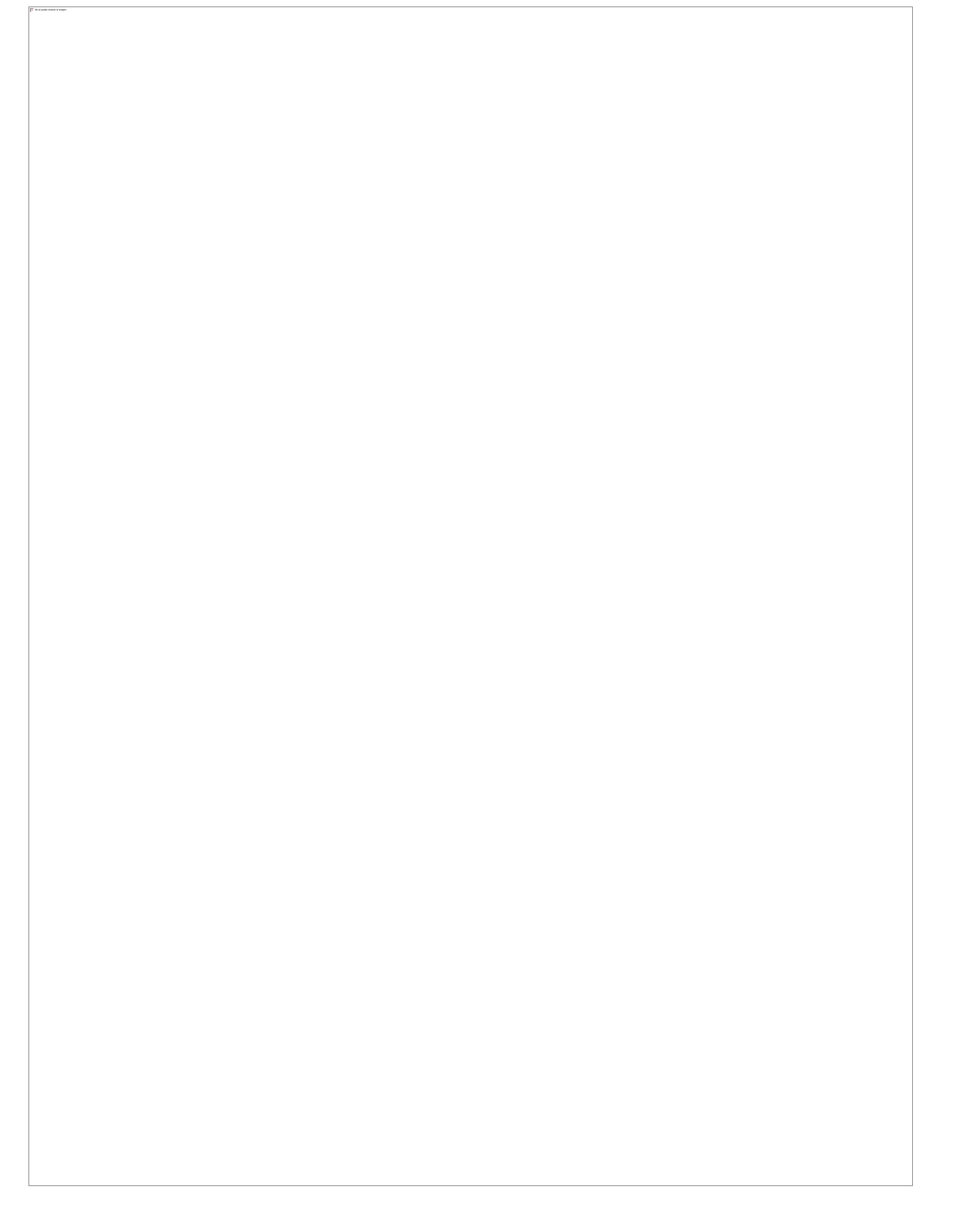

No se puede mostrar la imagen.

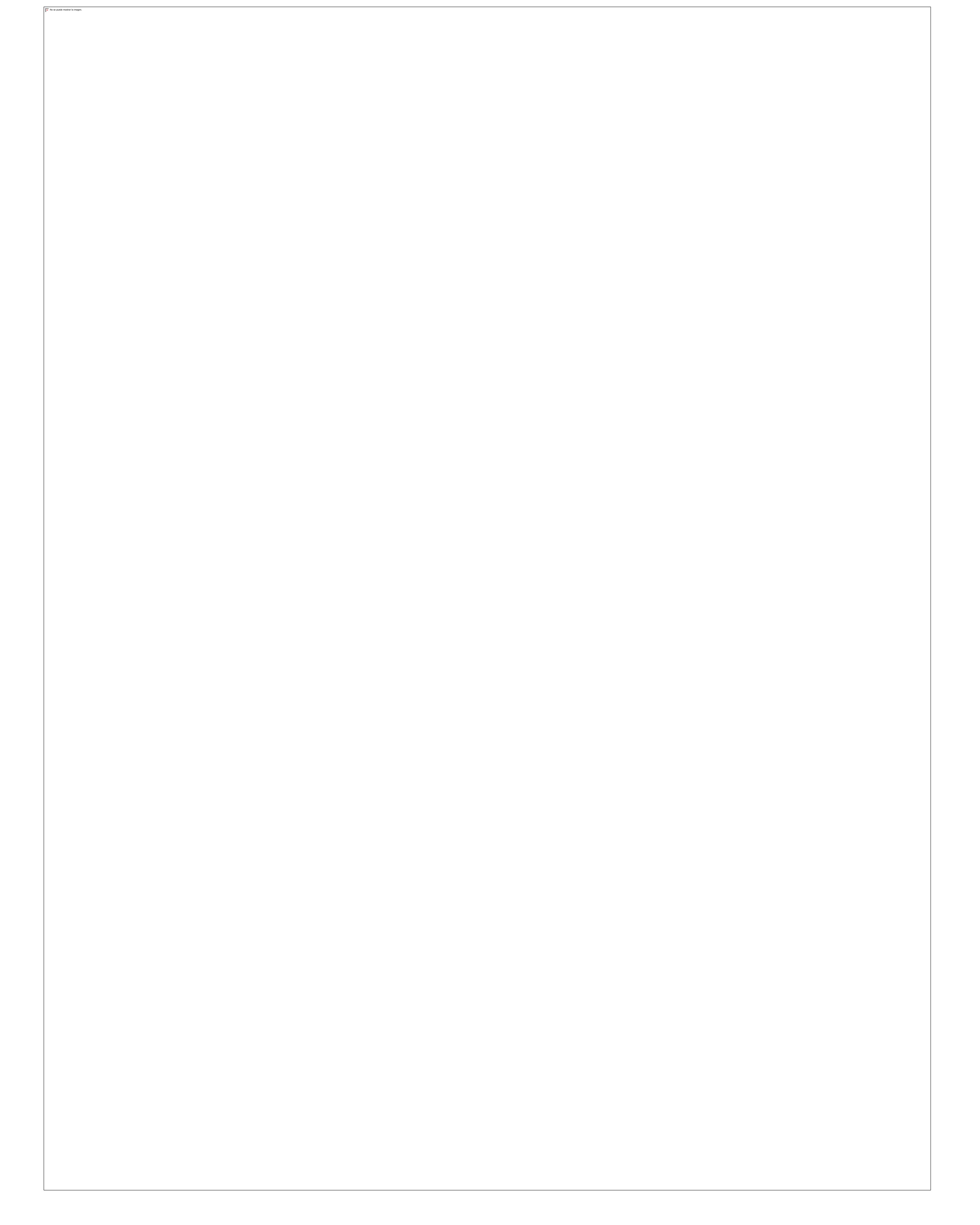

No se puede mostrar la imagen.

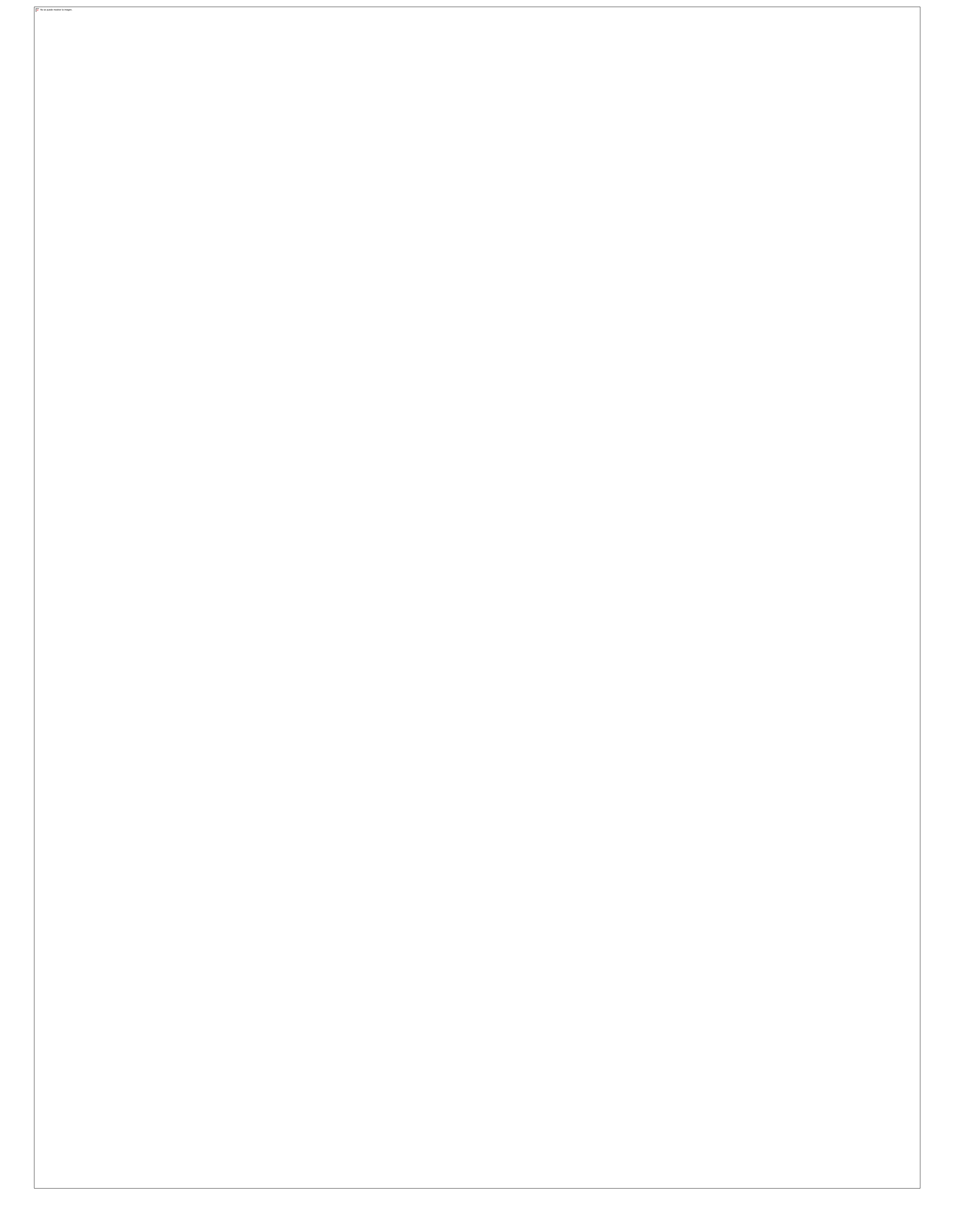

No se puede mostrar la imagen.

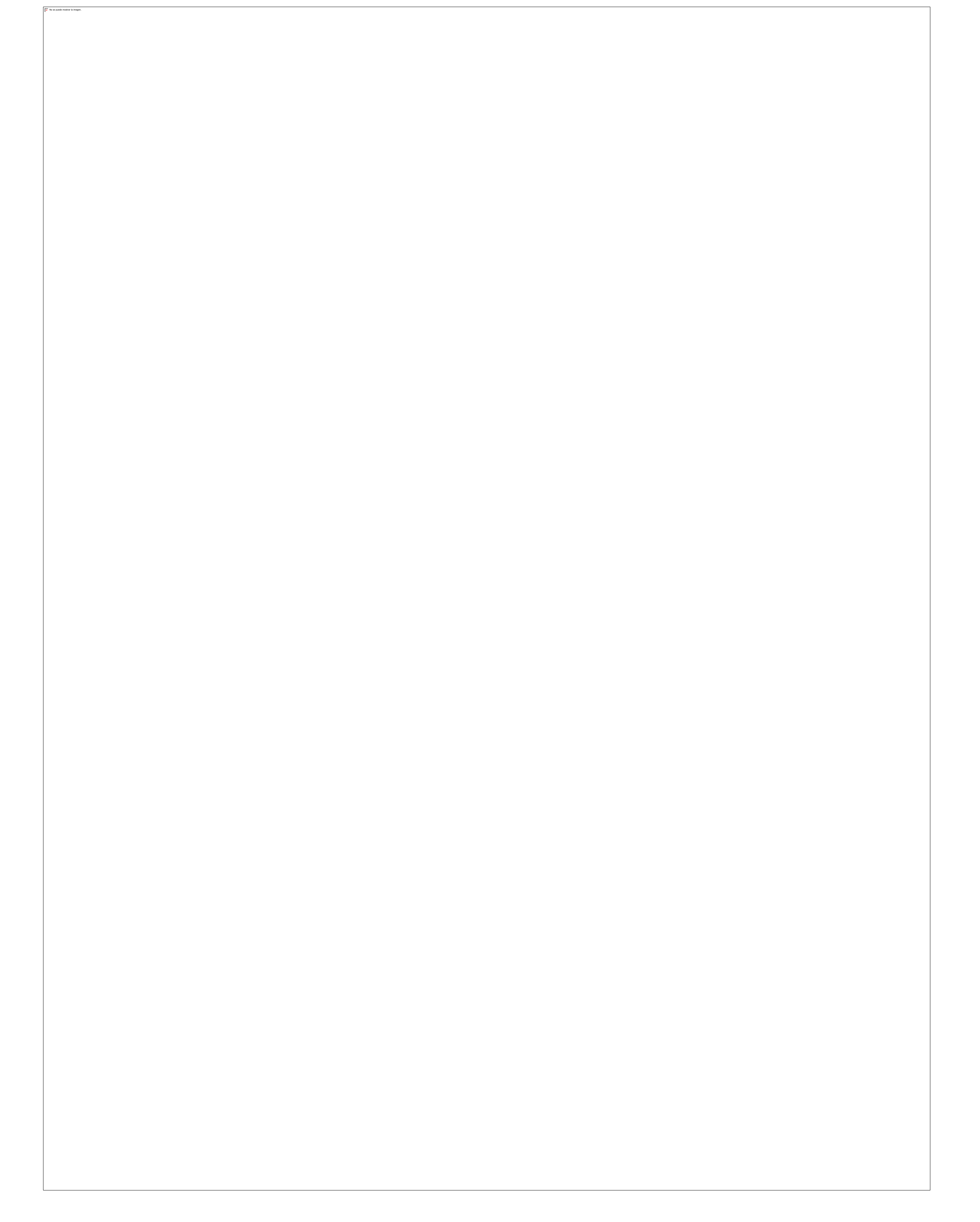

No se puede mostrar la imagen.

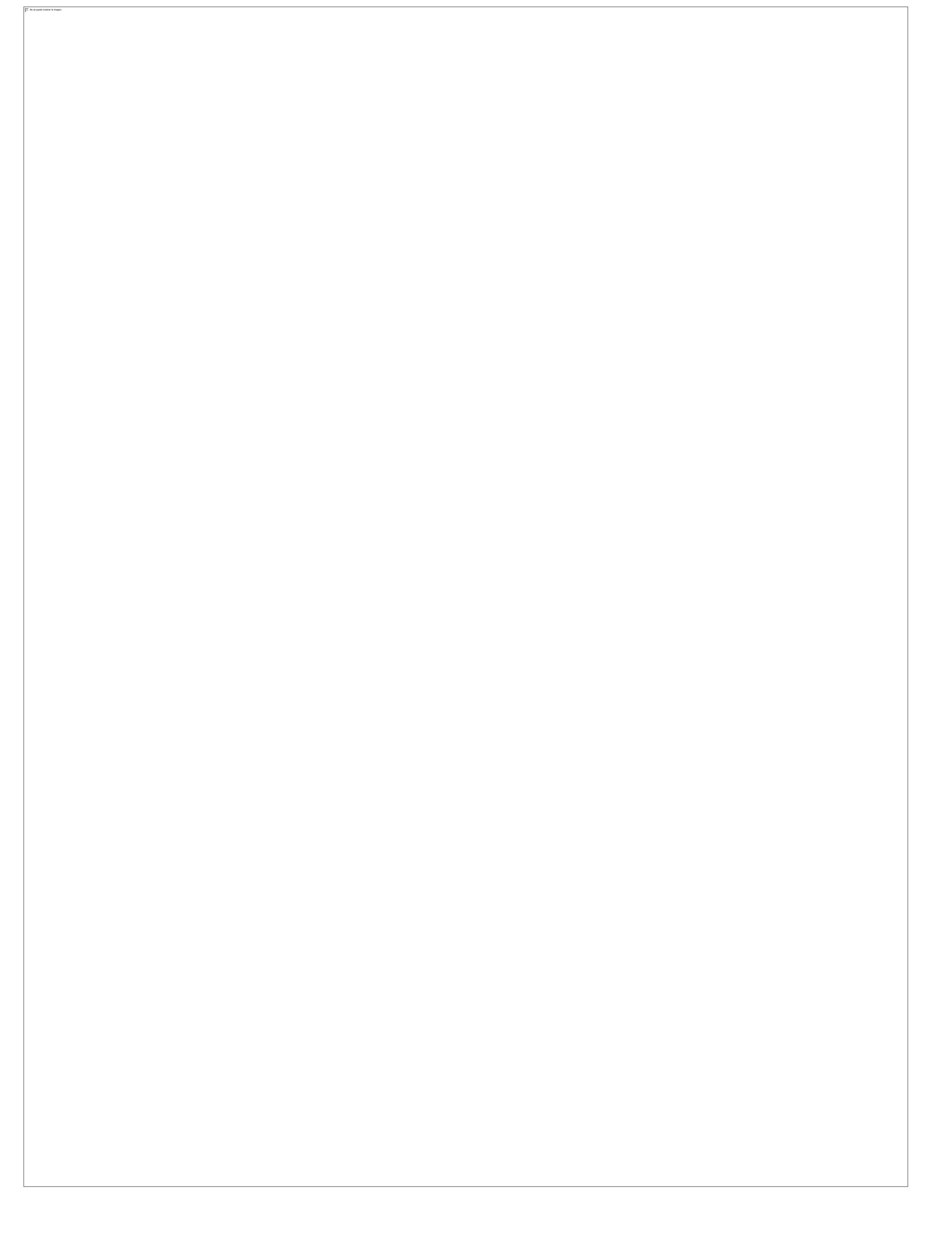

No se puede mostrar la imagen.

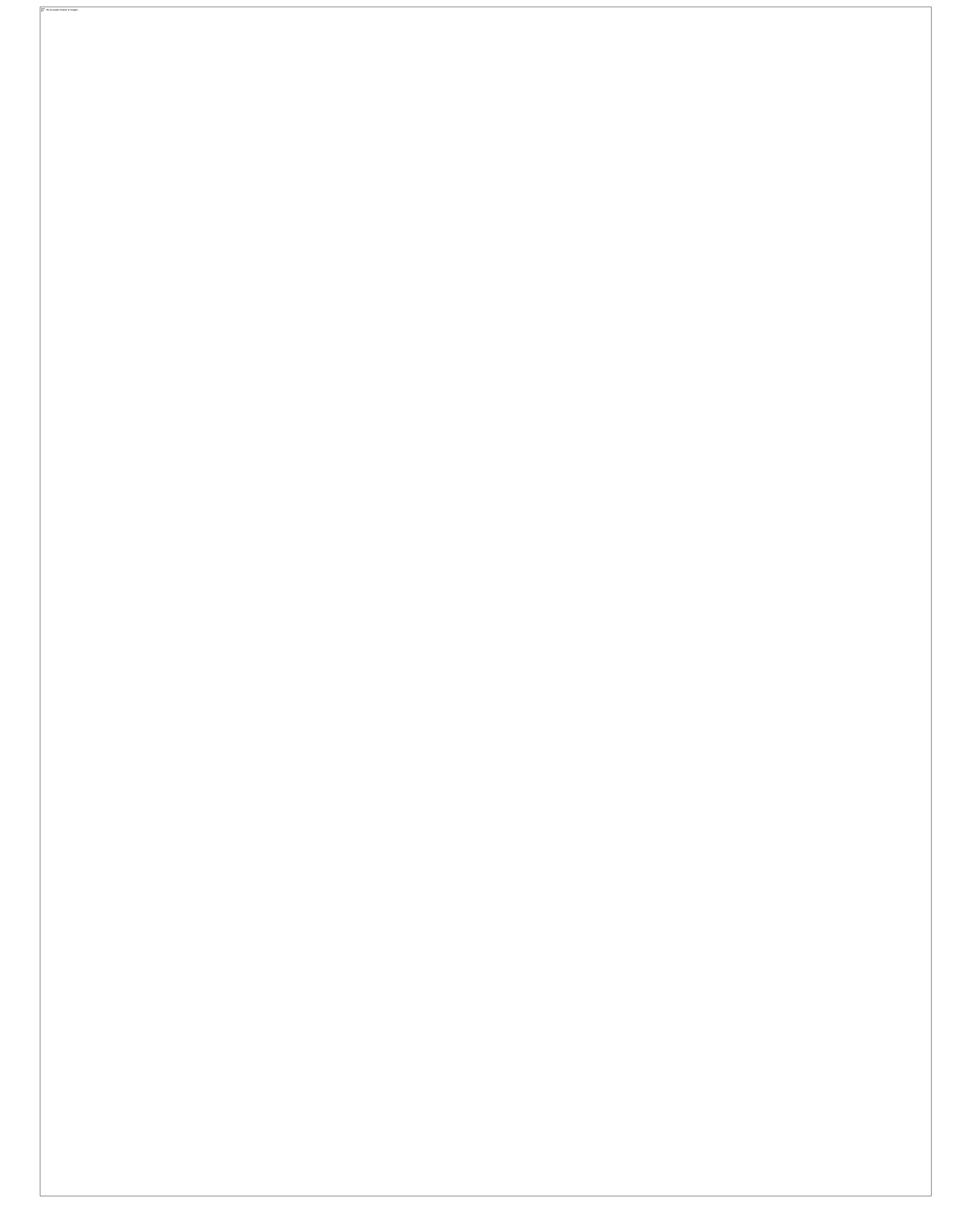

No se puede mostrar la imagen.

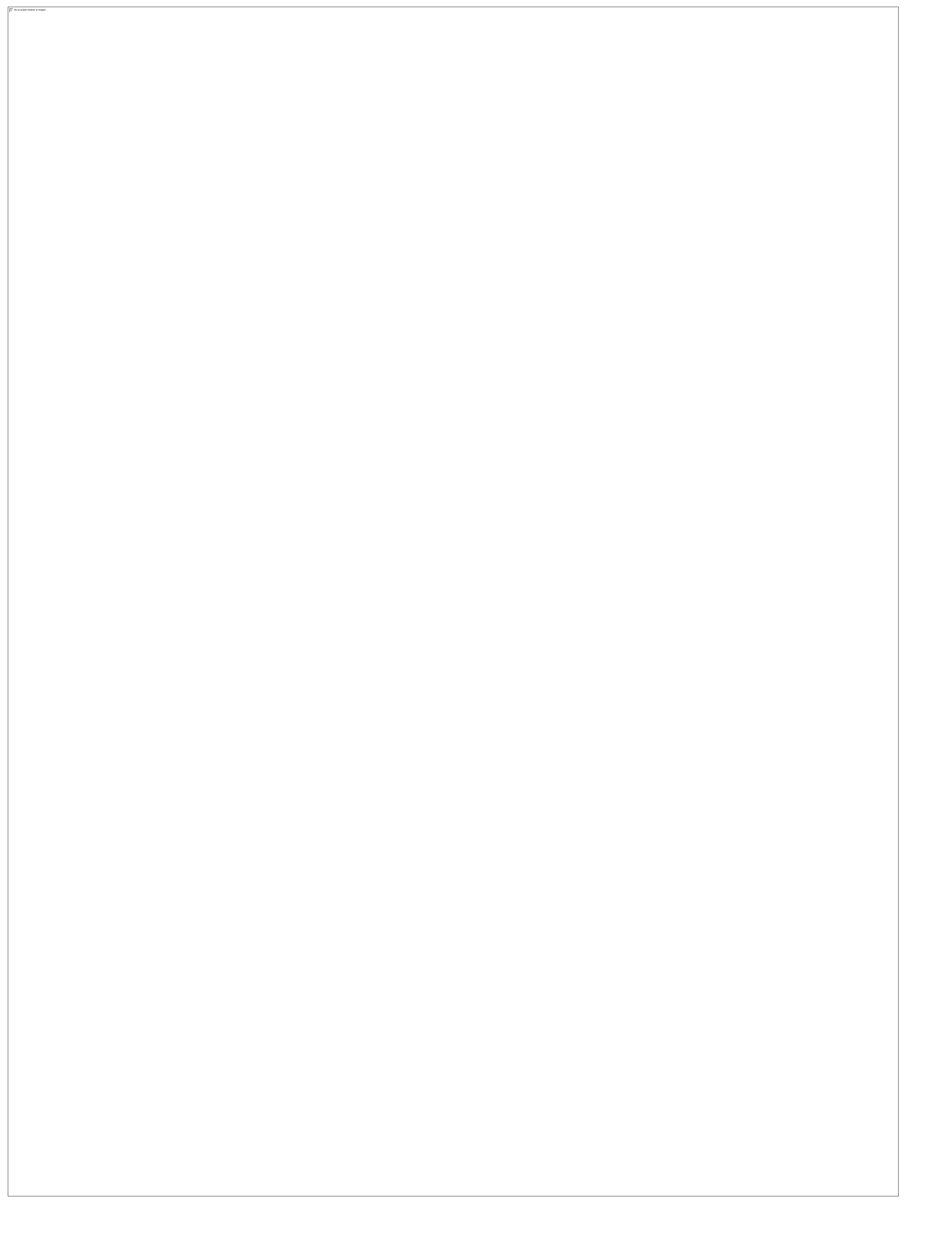

No se puede mostrar la imagen.

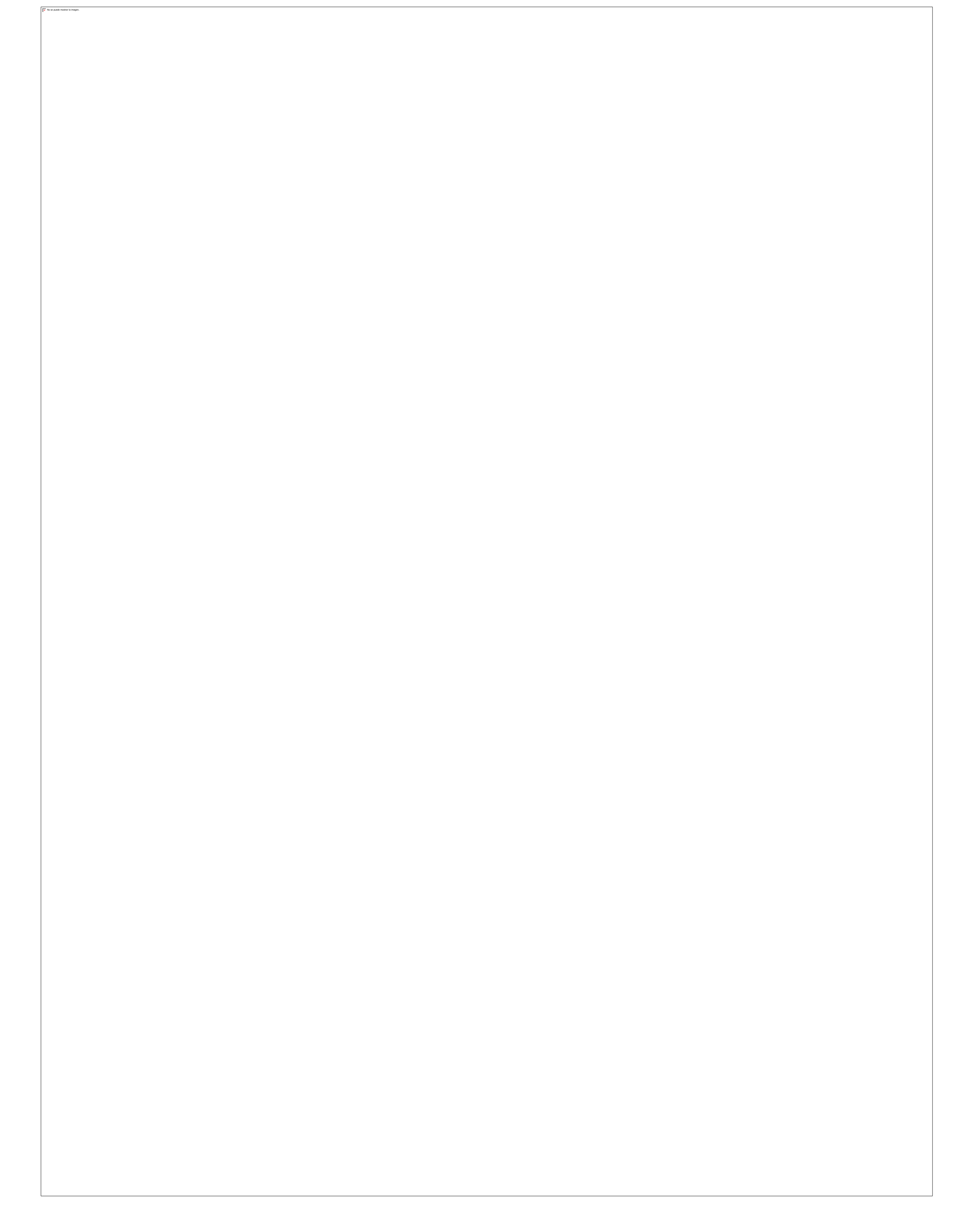

No se puede mostrar la imagen.

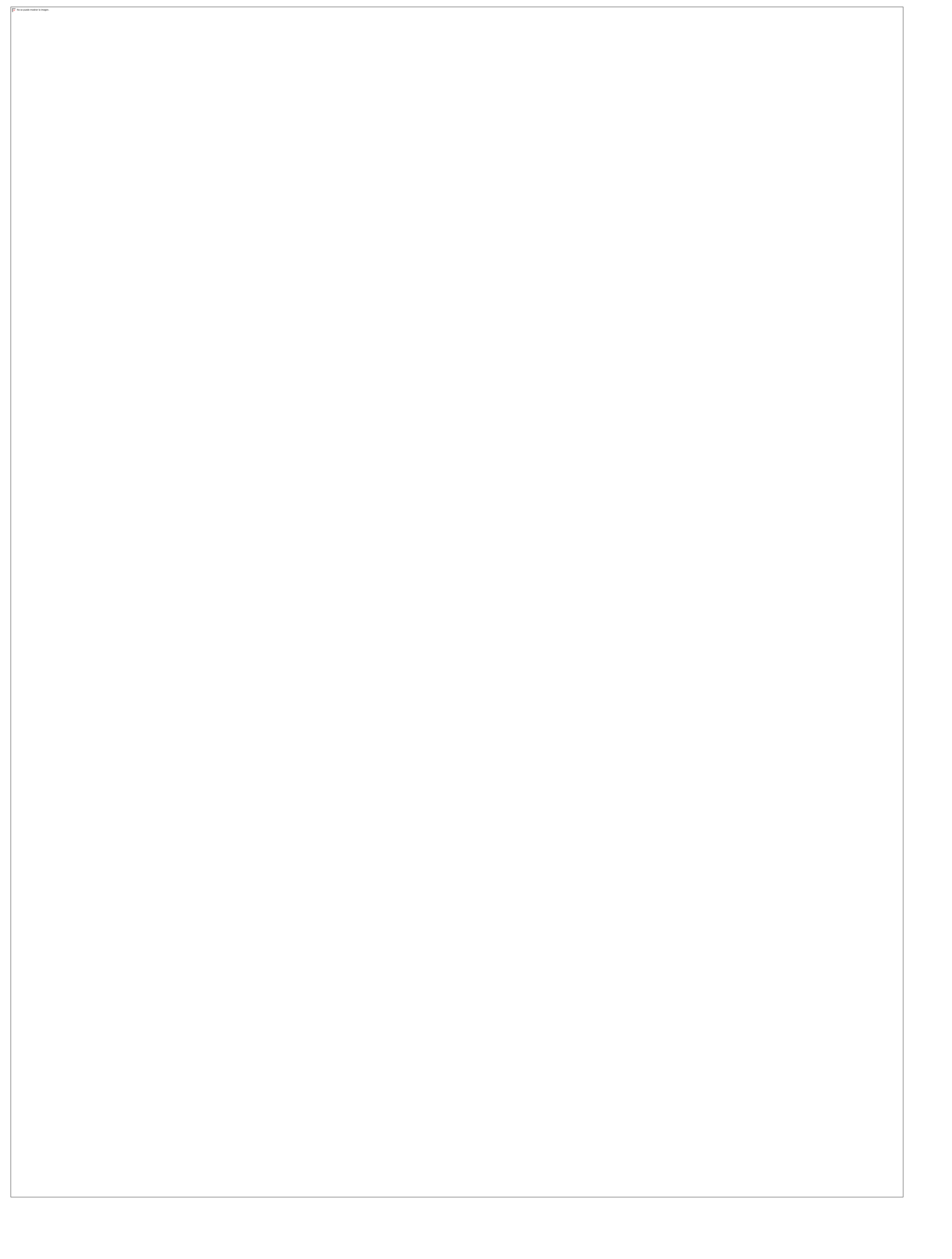

No se puede mostrar la imagen.

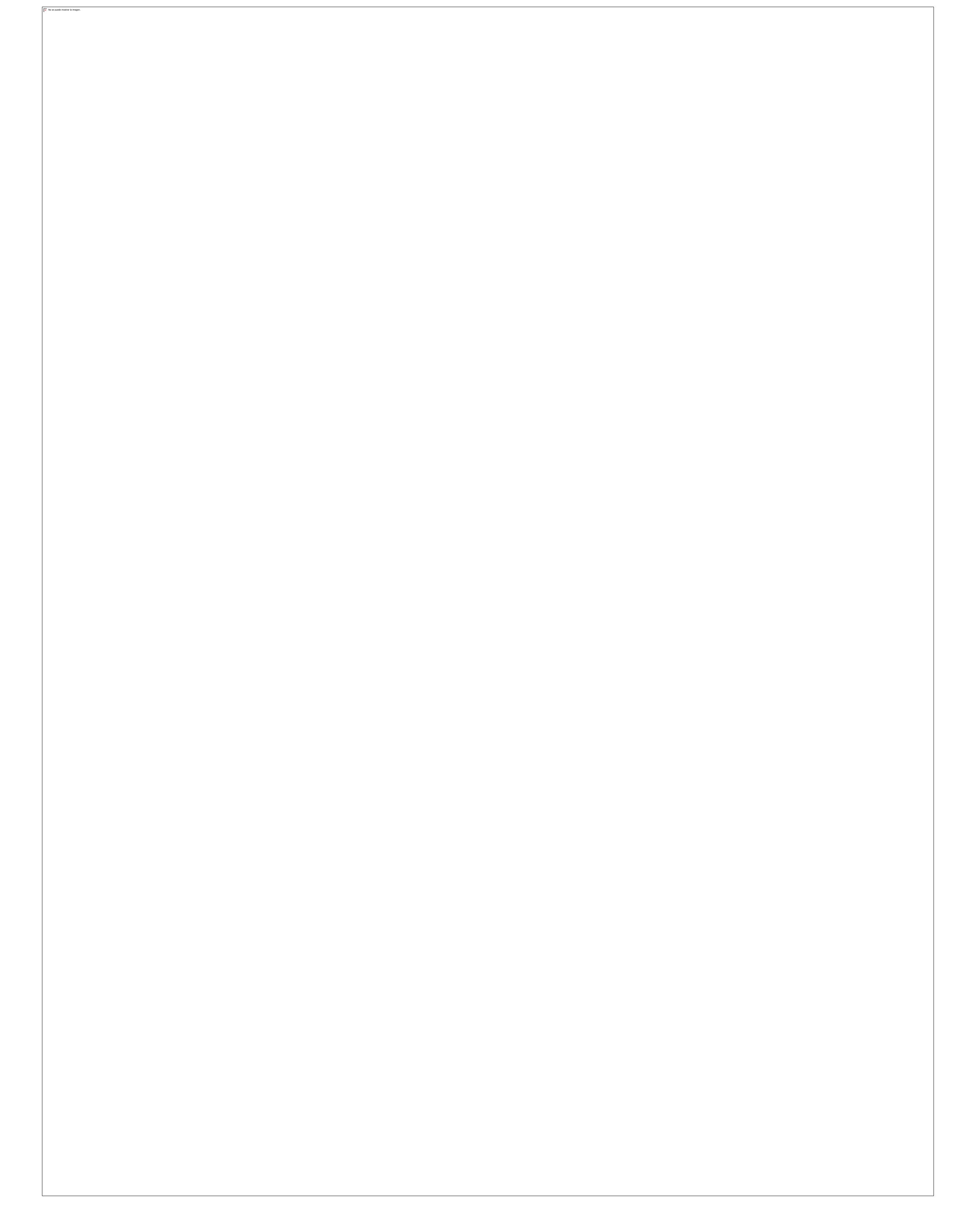

No se puede mostrar la imagen.

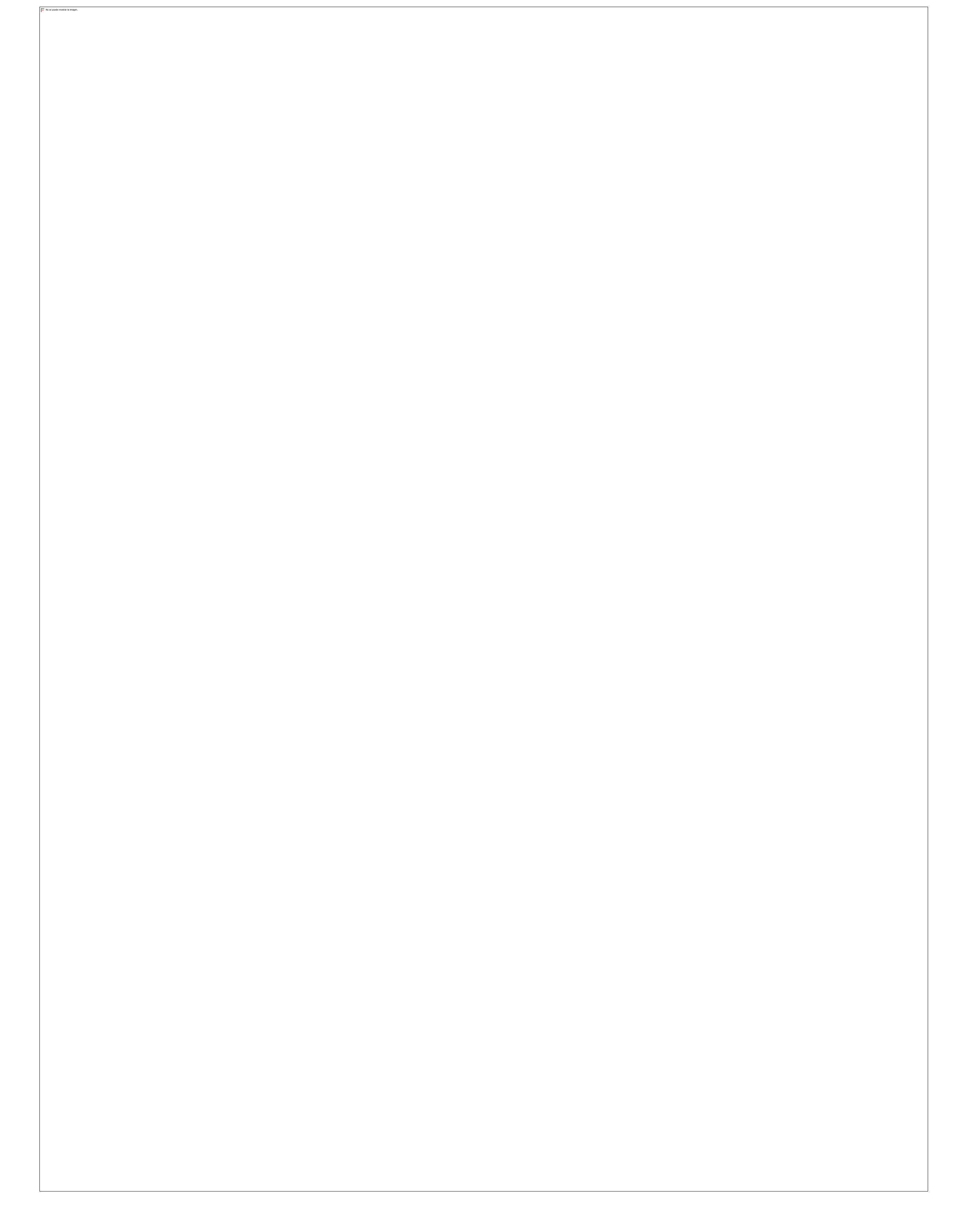

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

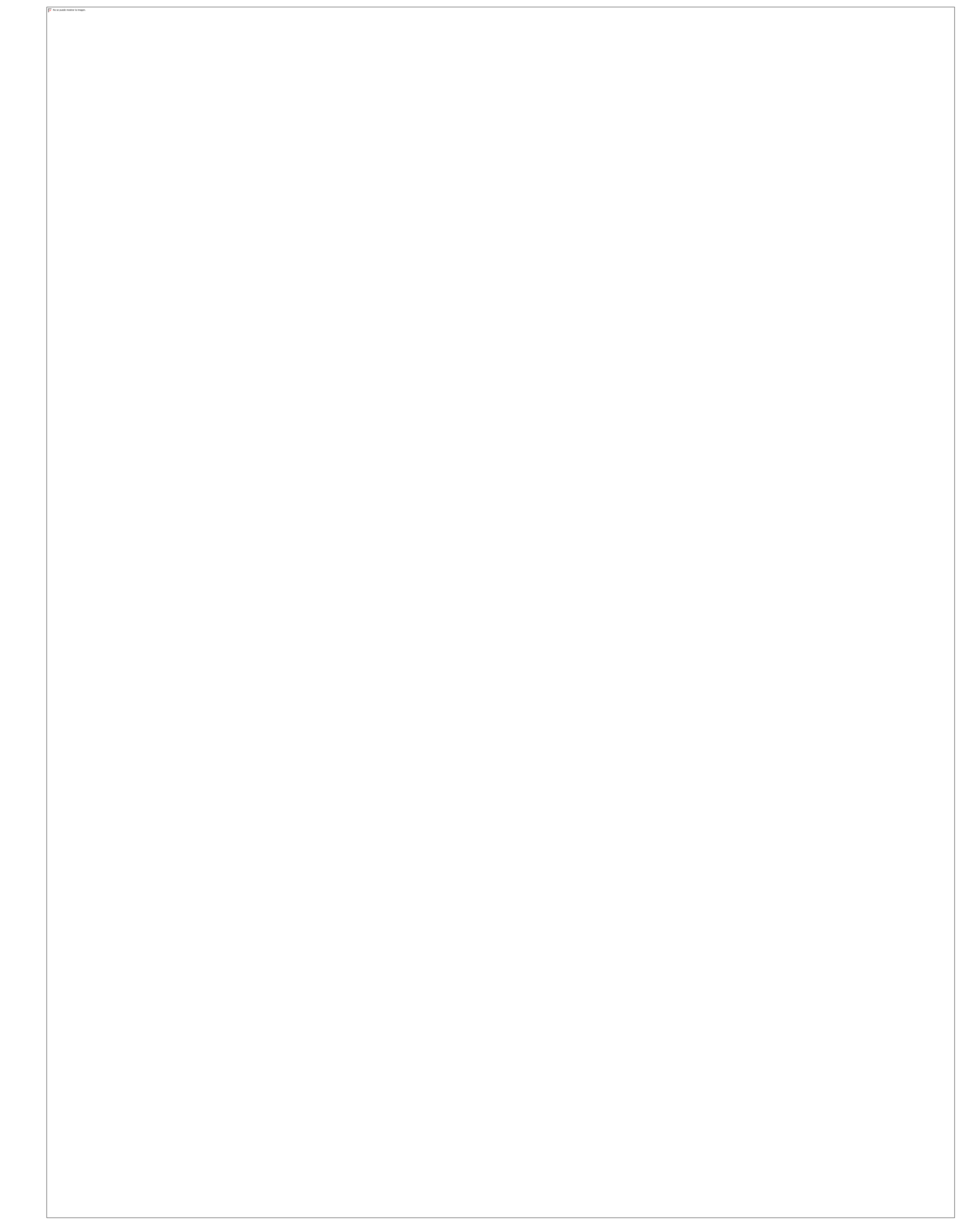

No se puede mostrar la imagen.

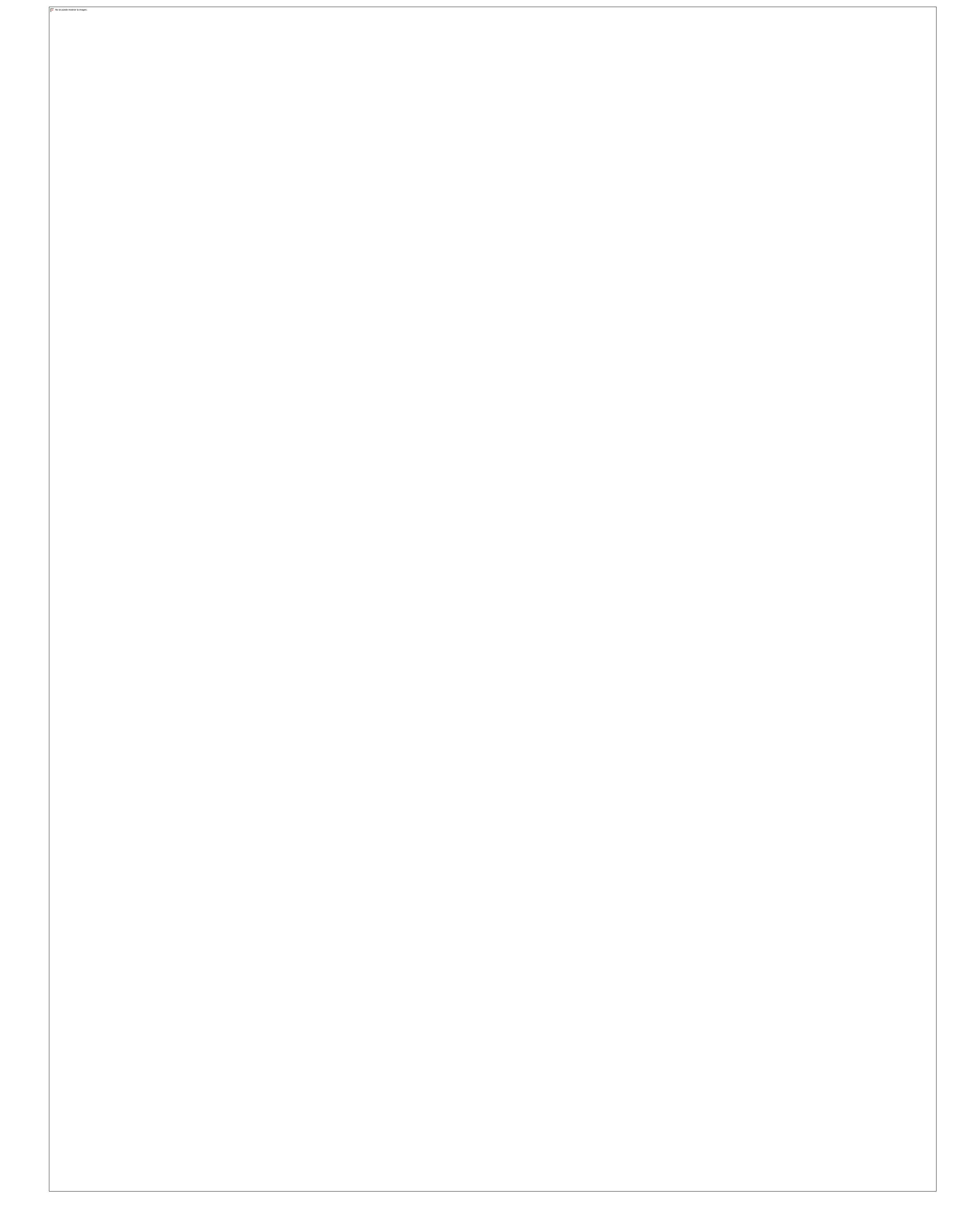

No se puede mostrar la imagen.

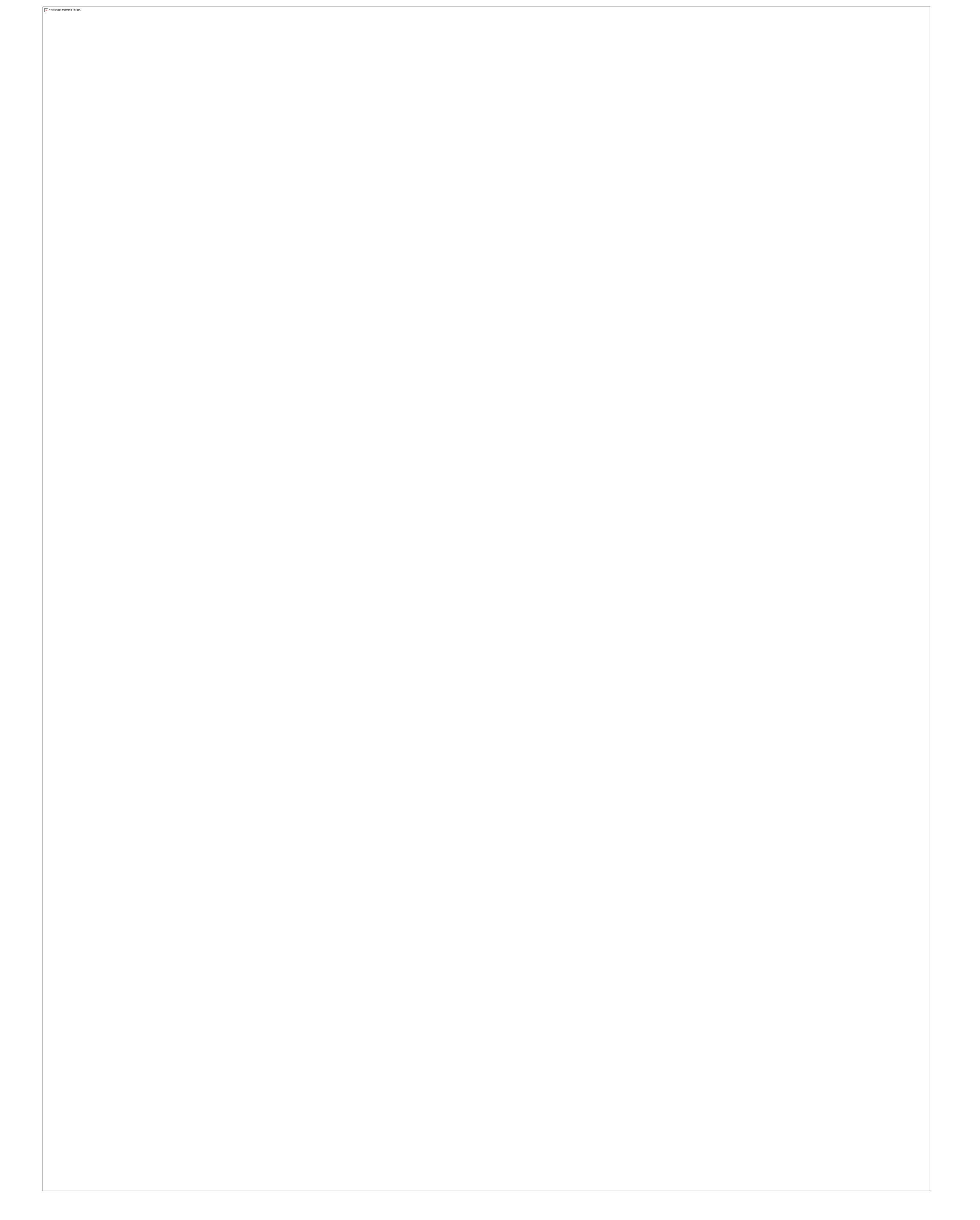

No se puede mostrar la imagen.

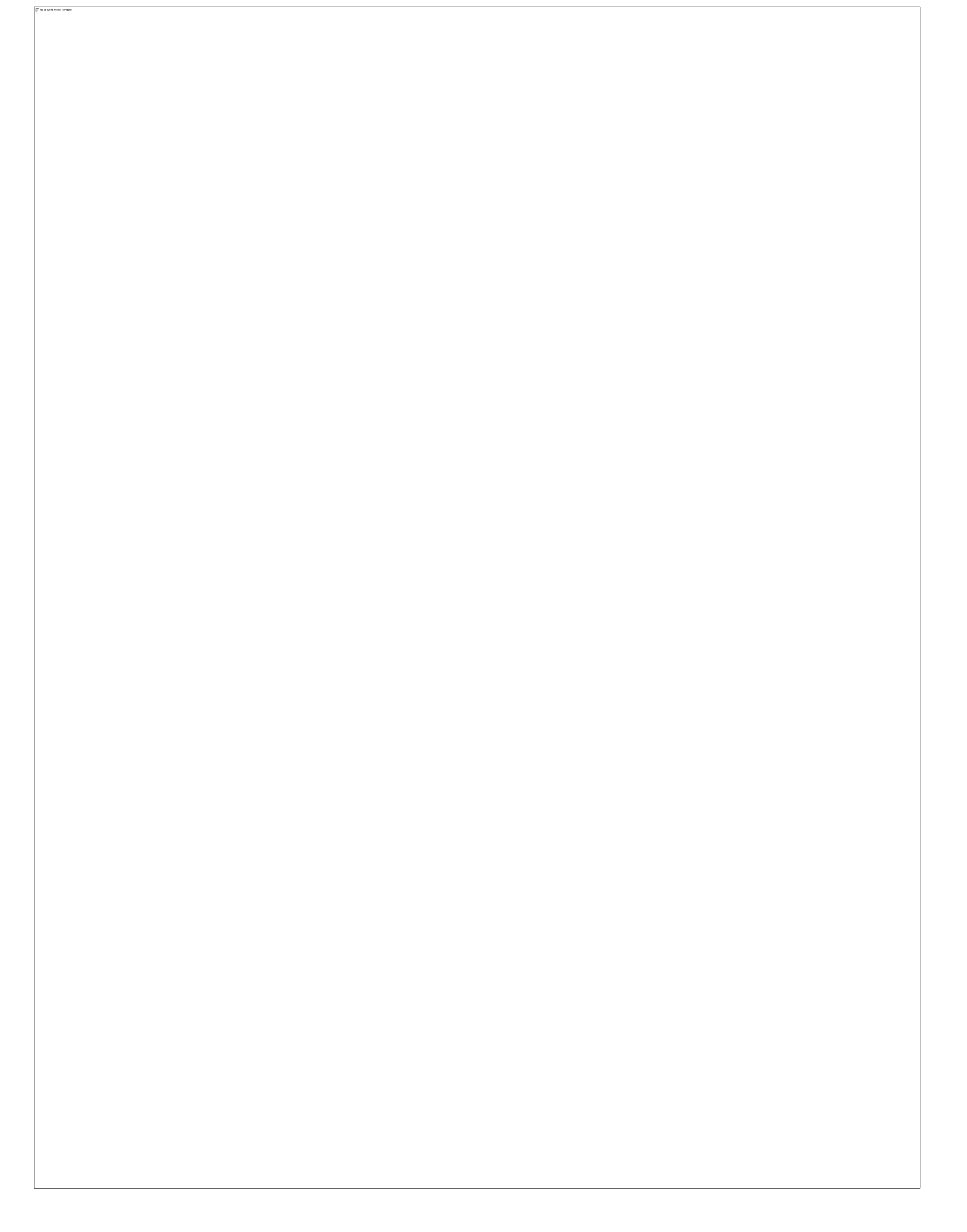

No se puede mostrar la imagen.

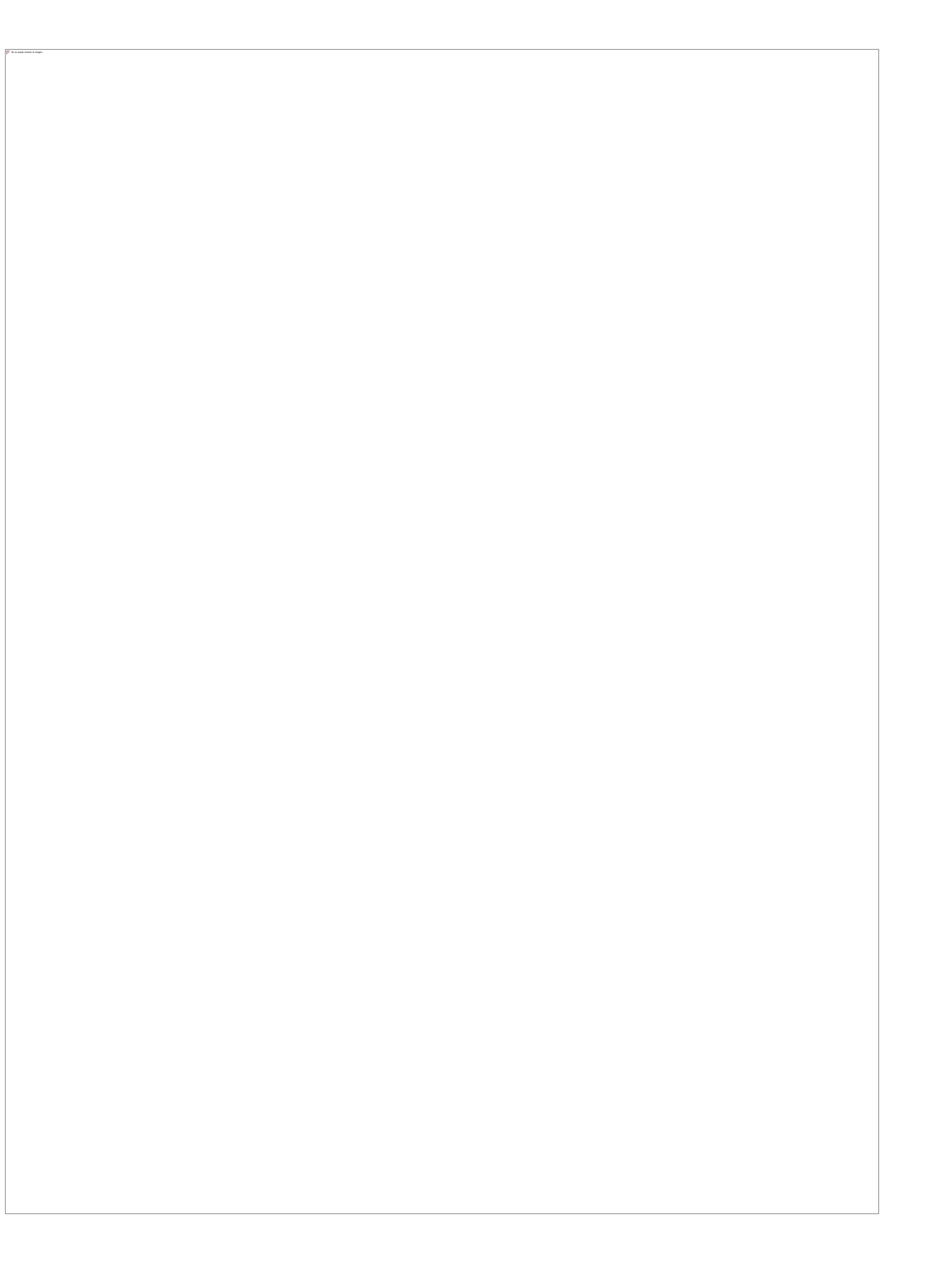
No se puede mostrar la imagen.

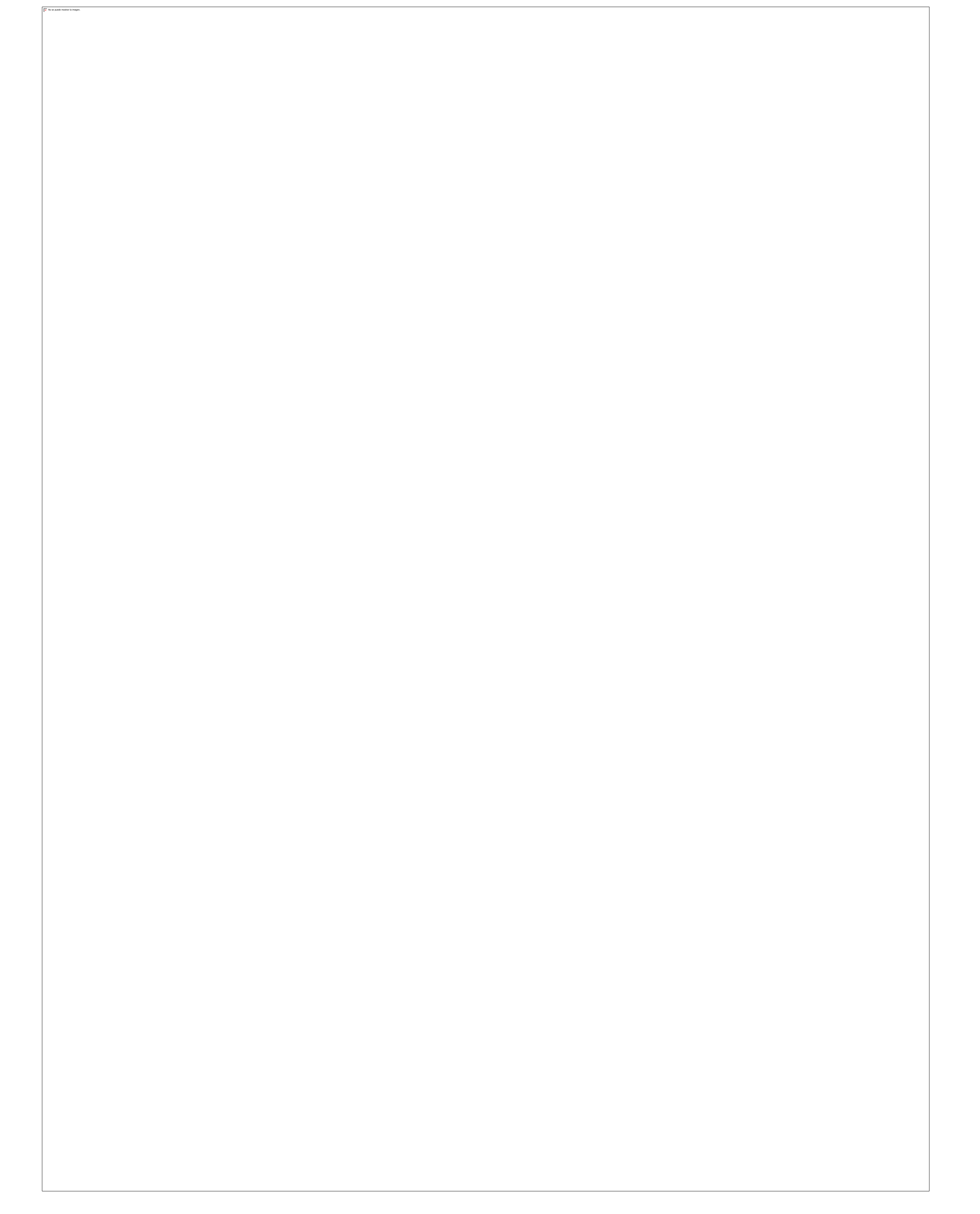

No se puede mostrar la imagen.

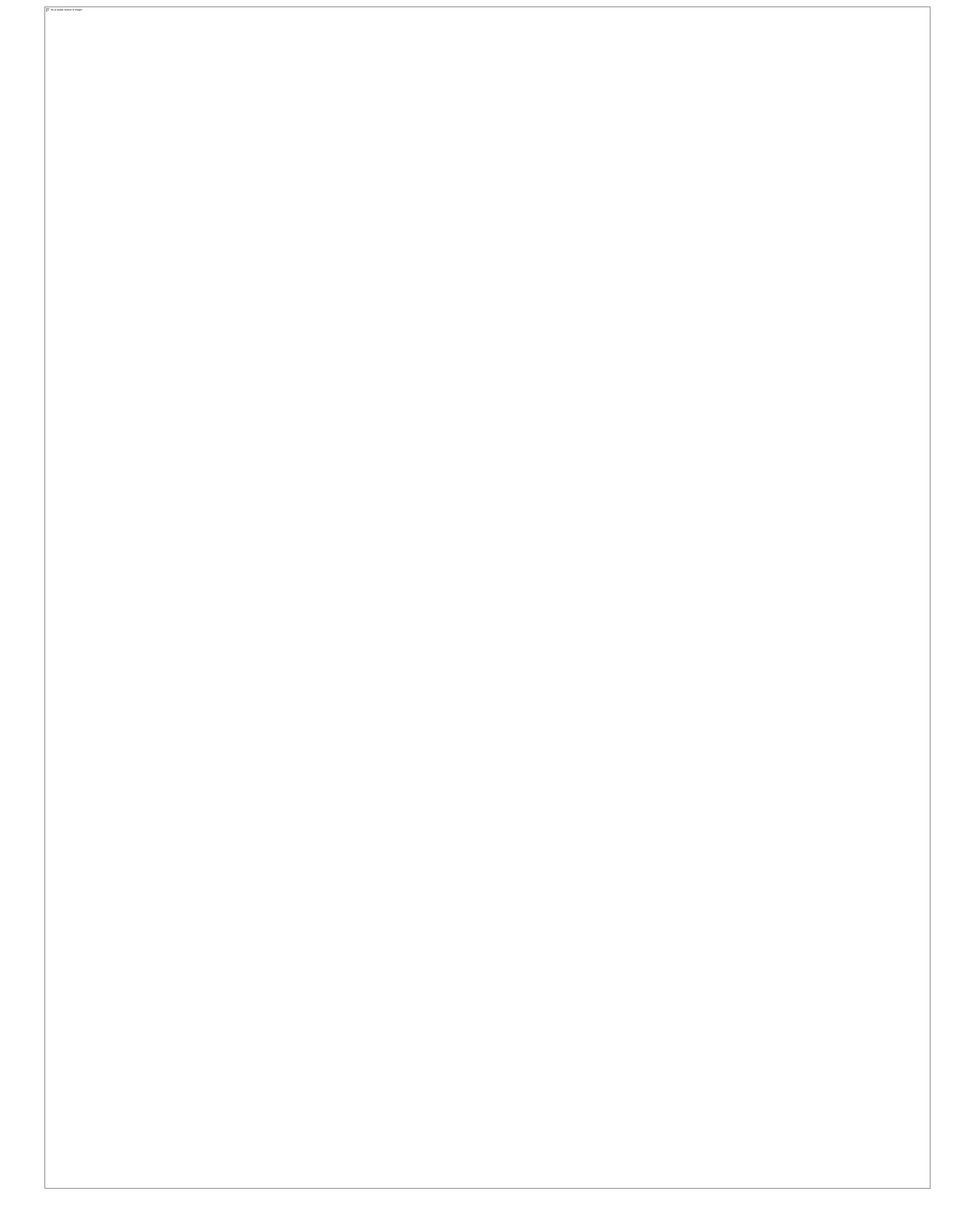

No se puede mostrar la imagen.

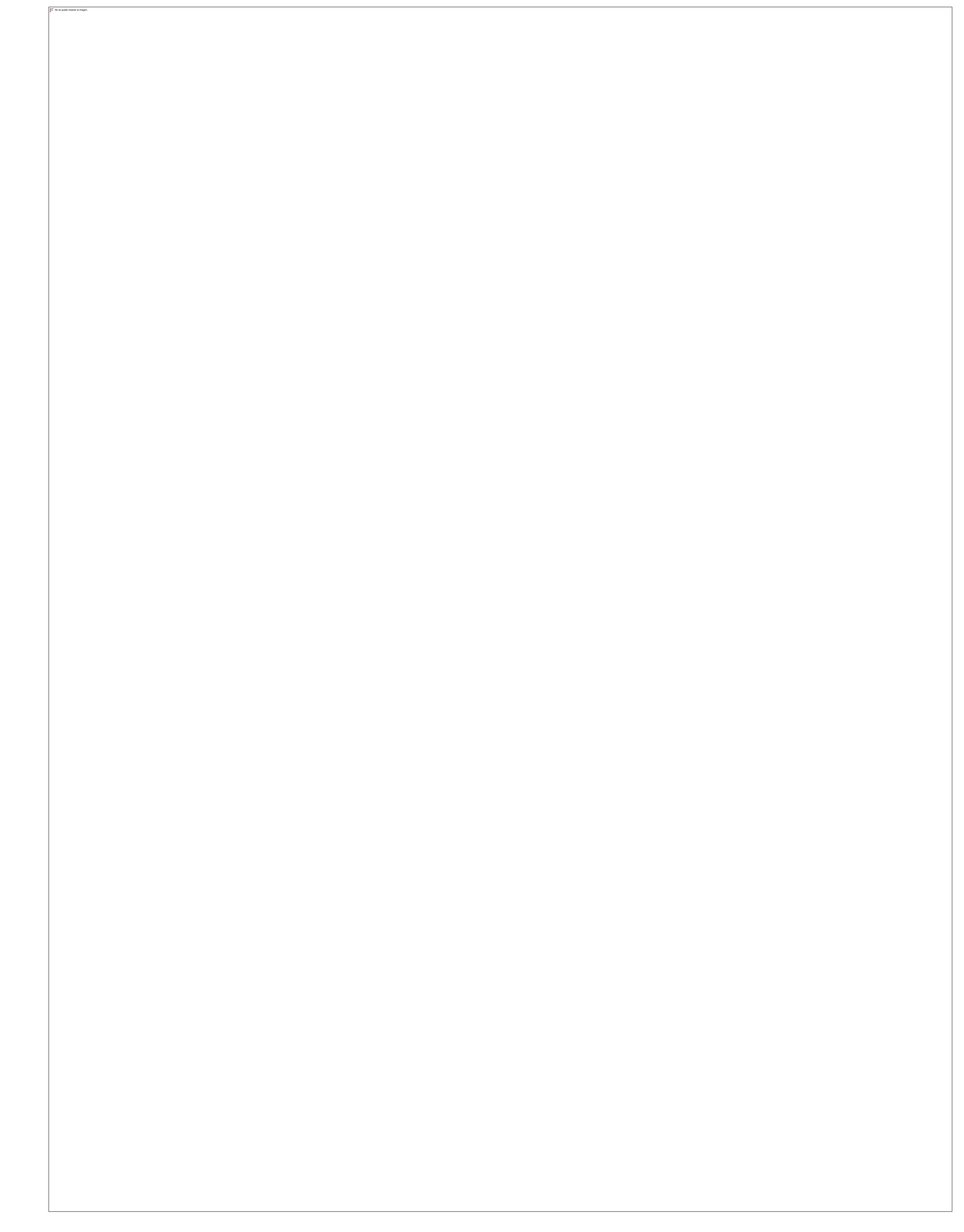

No se puede mostrar la imagen.

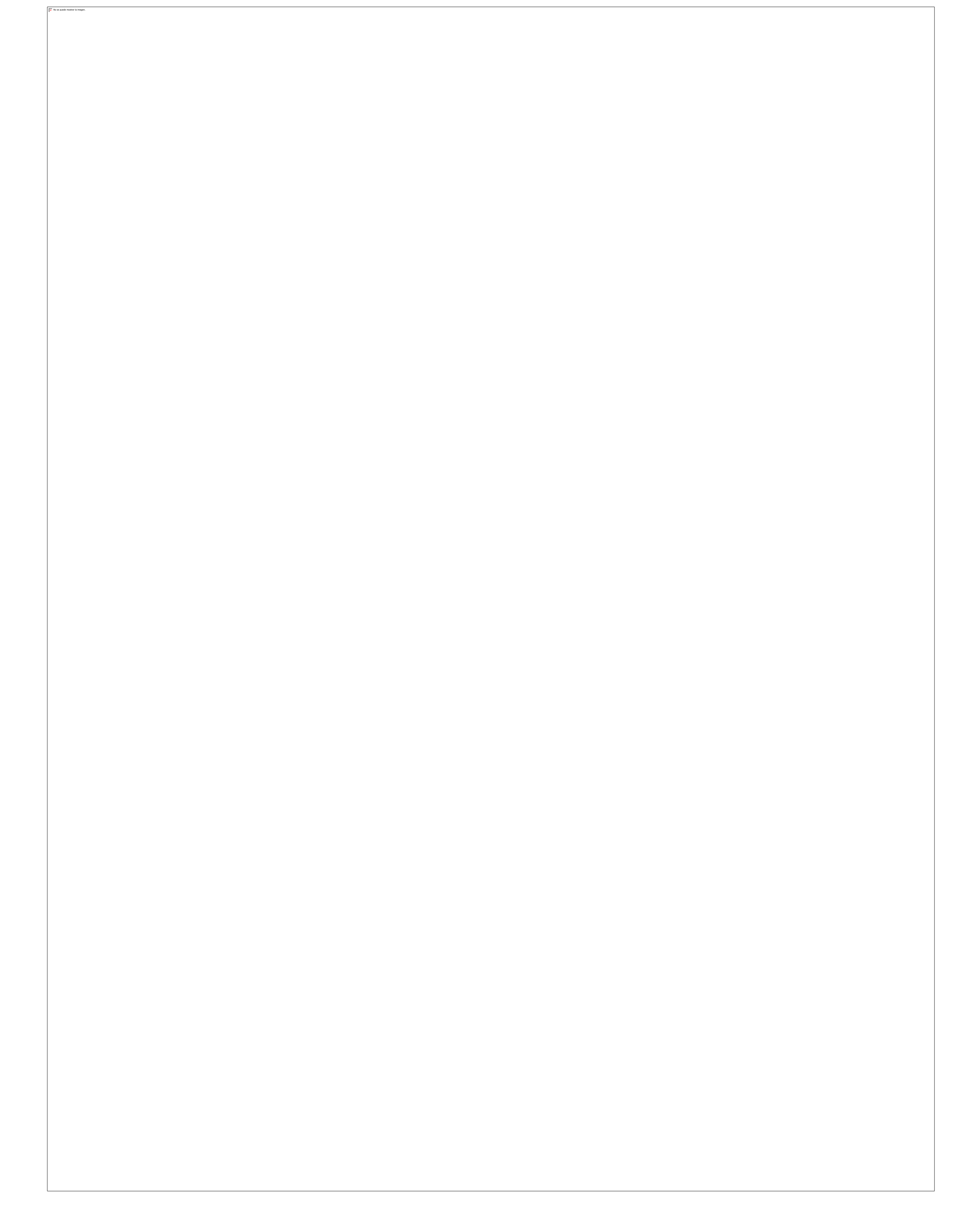

No se puede mostrar la imagen.

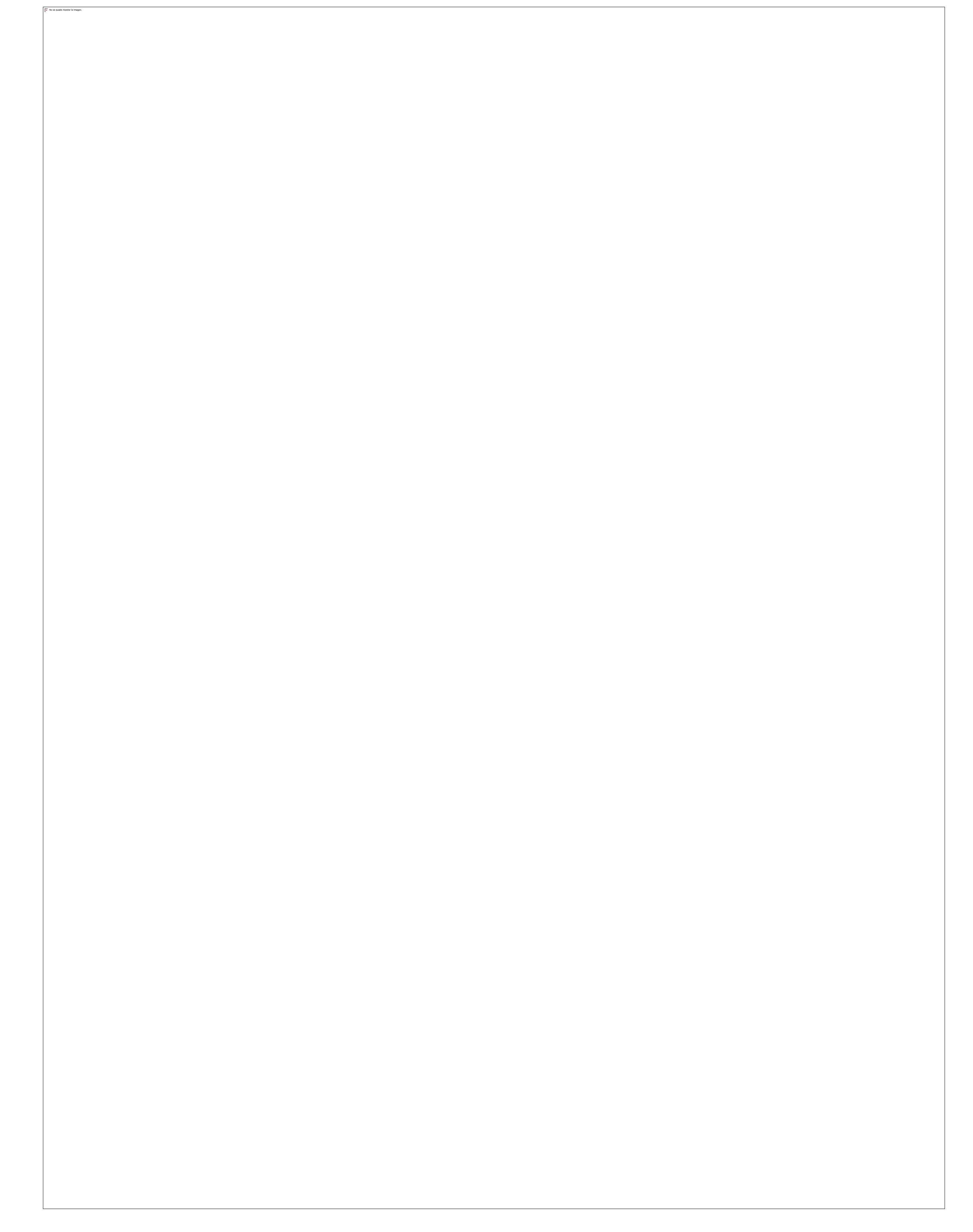

No se puede mostrar la imagen.

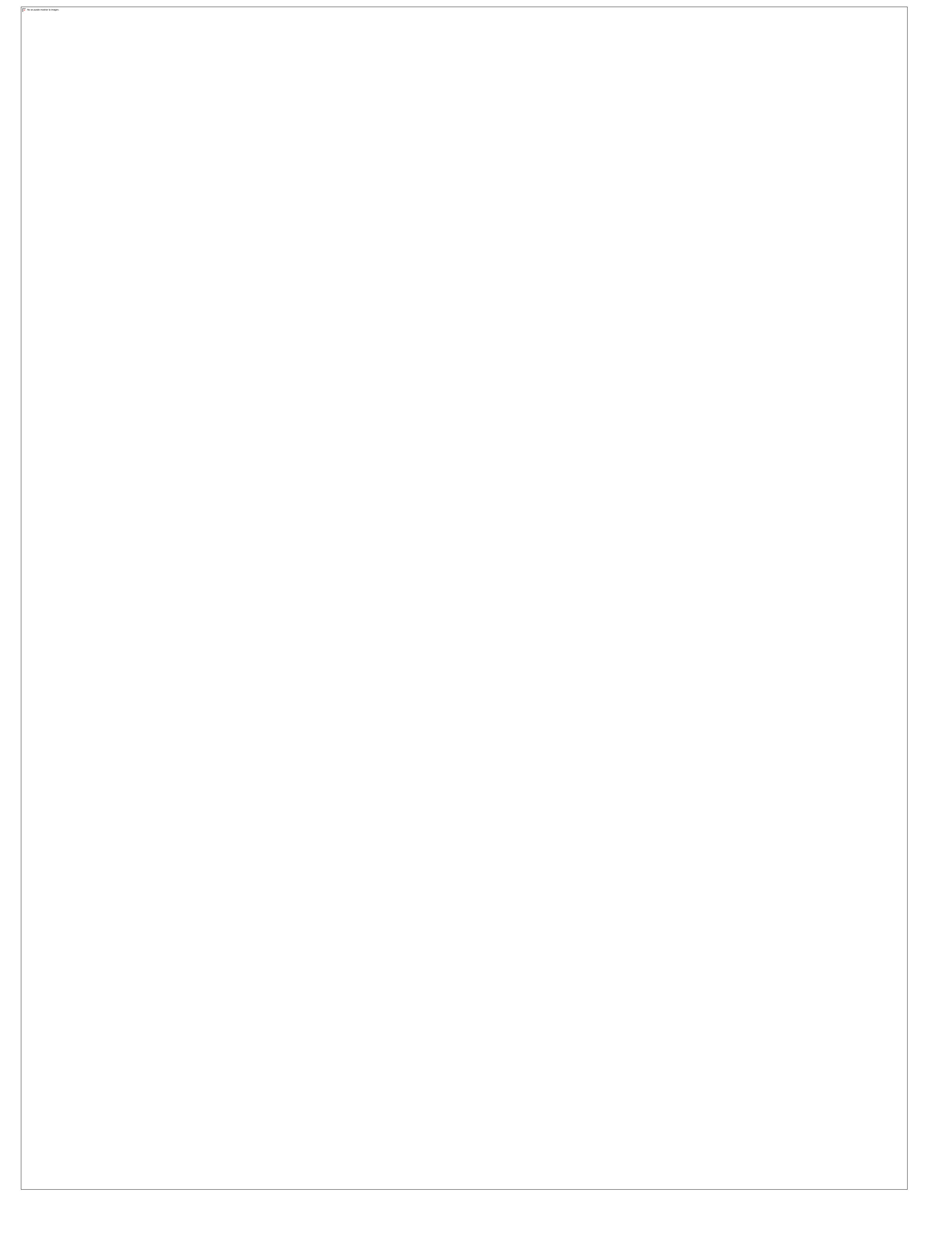

No se puede mostrar la imagen.

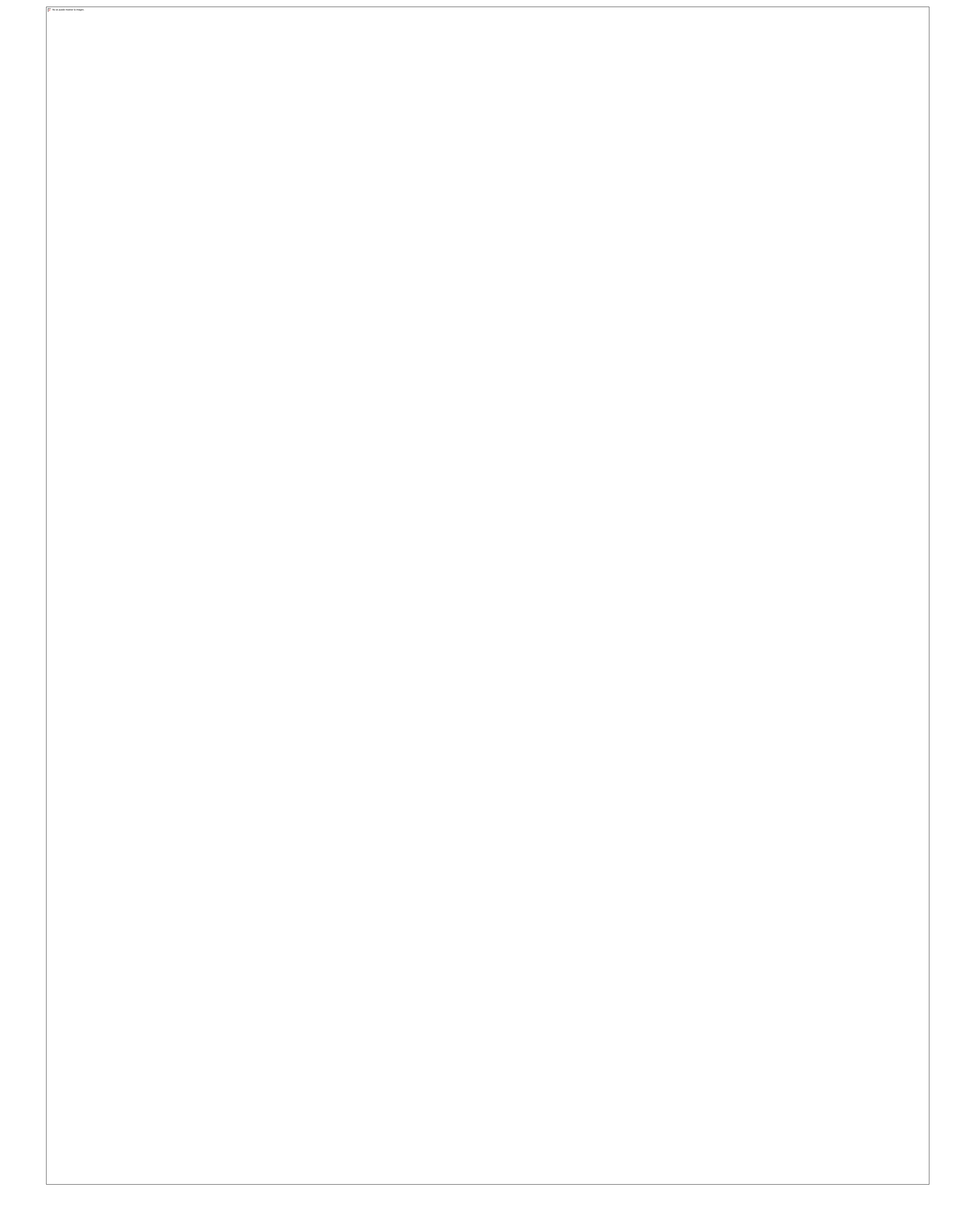

No se puede mostrar la imagen.

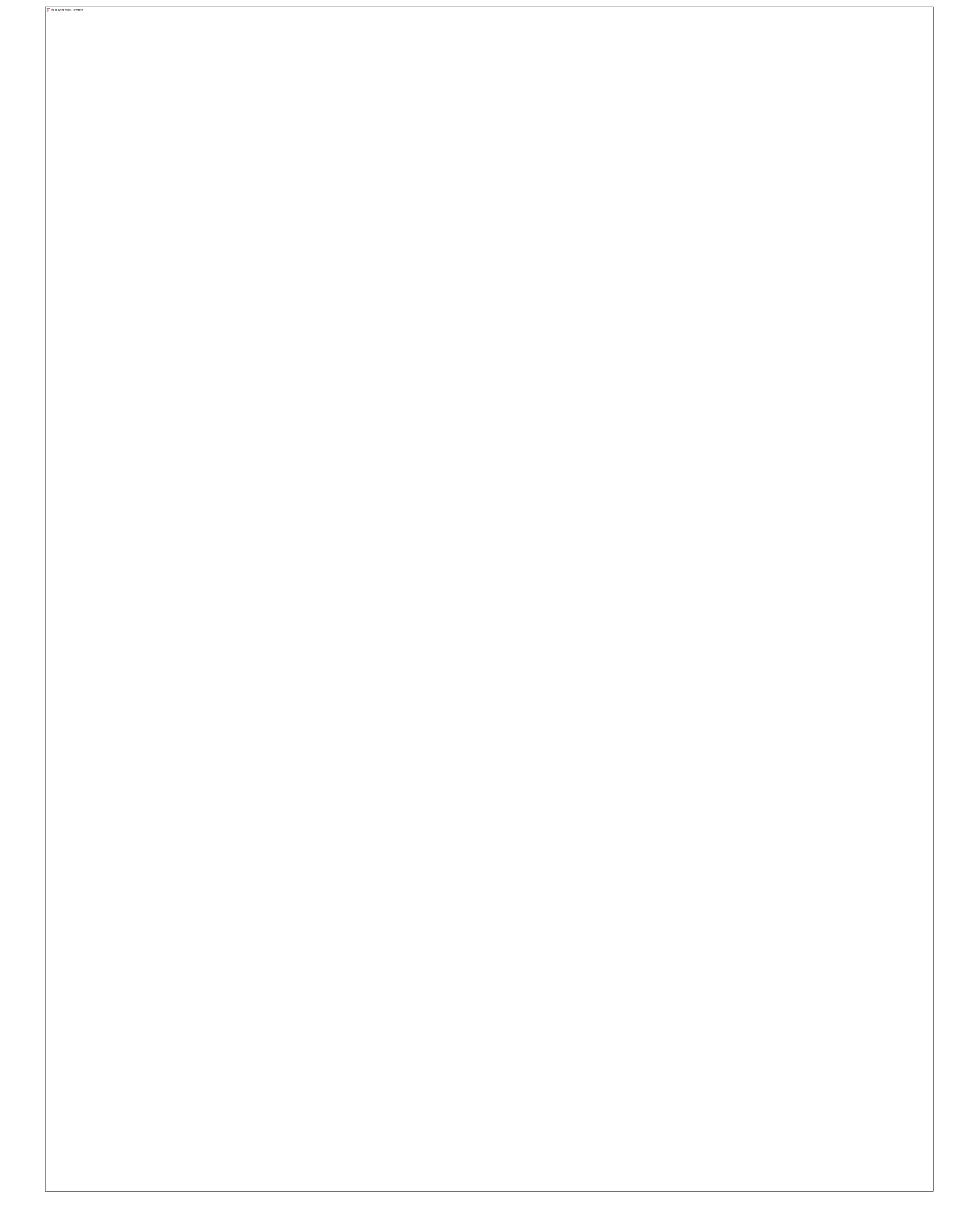

No se puede mostrar la imagen.

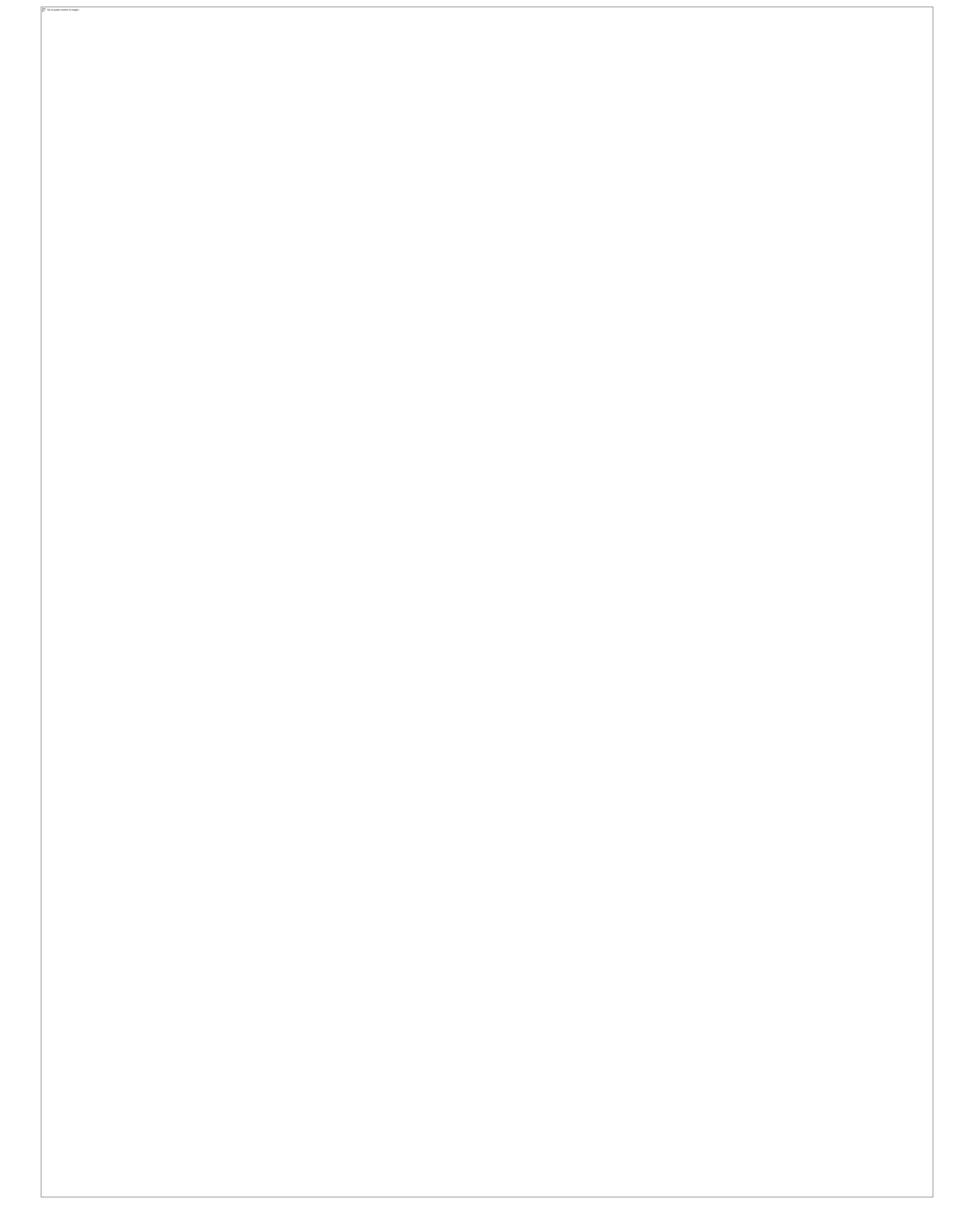

No se puede mostrar la imagen.

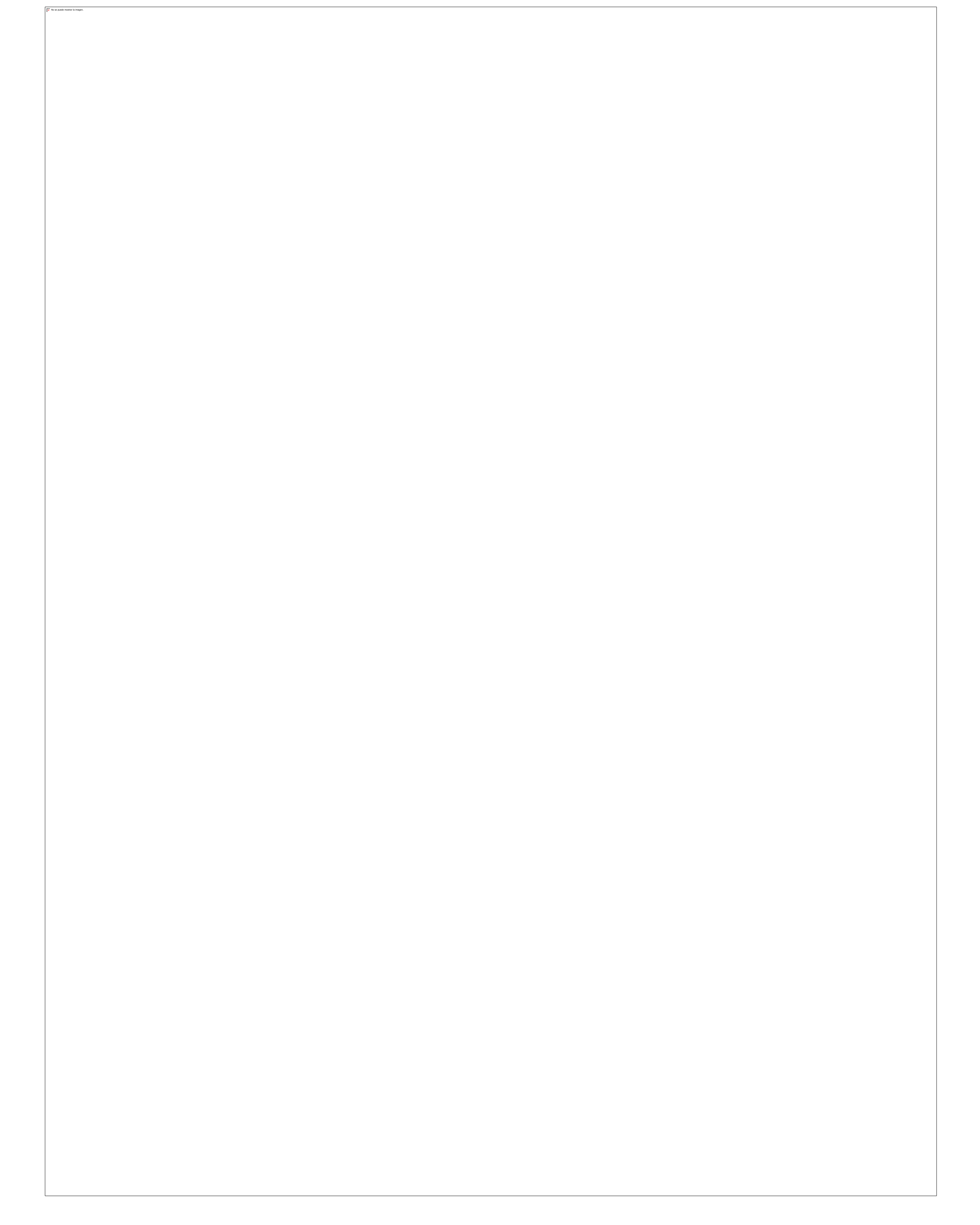

No se puede mostrar la imagen.

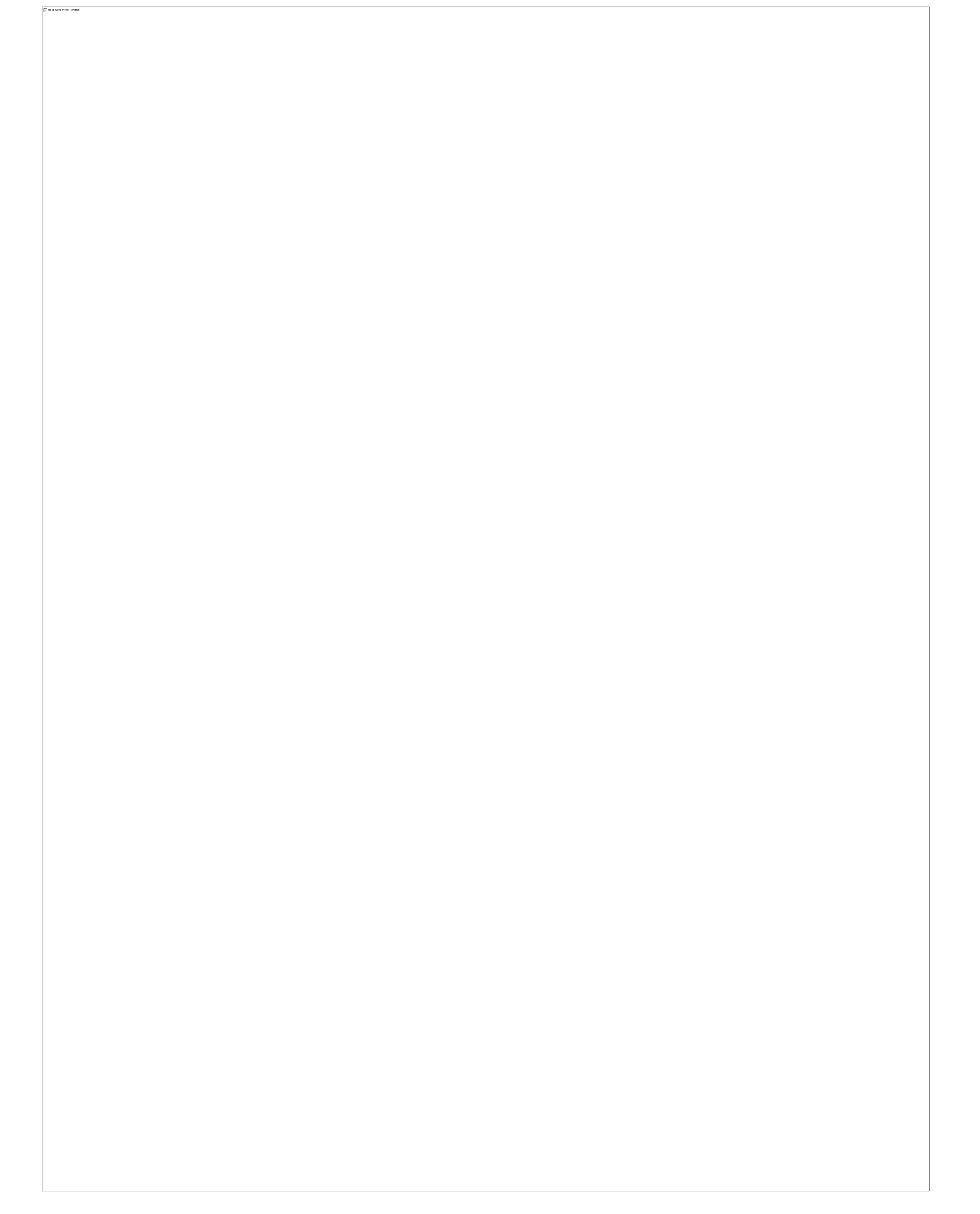

No se puede mostrar la imagen.

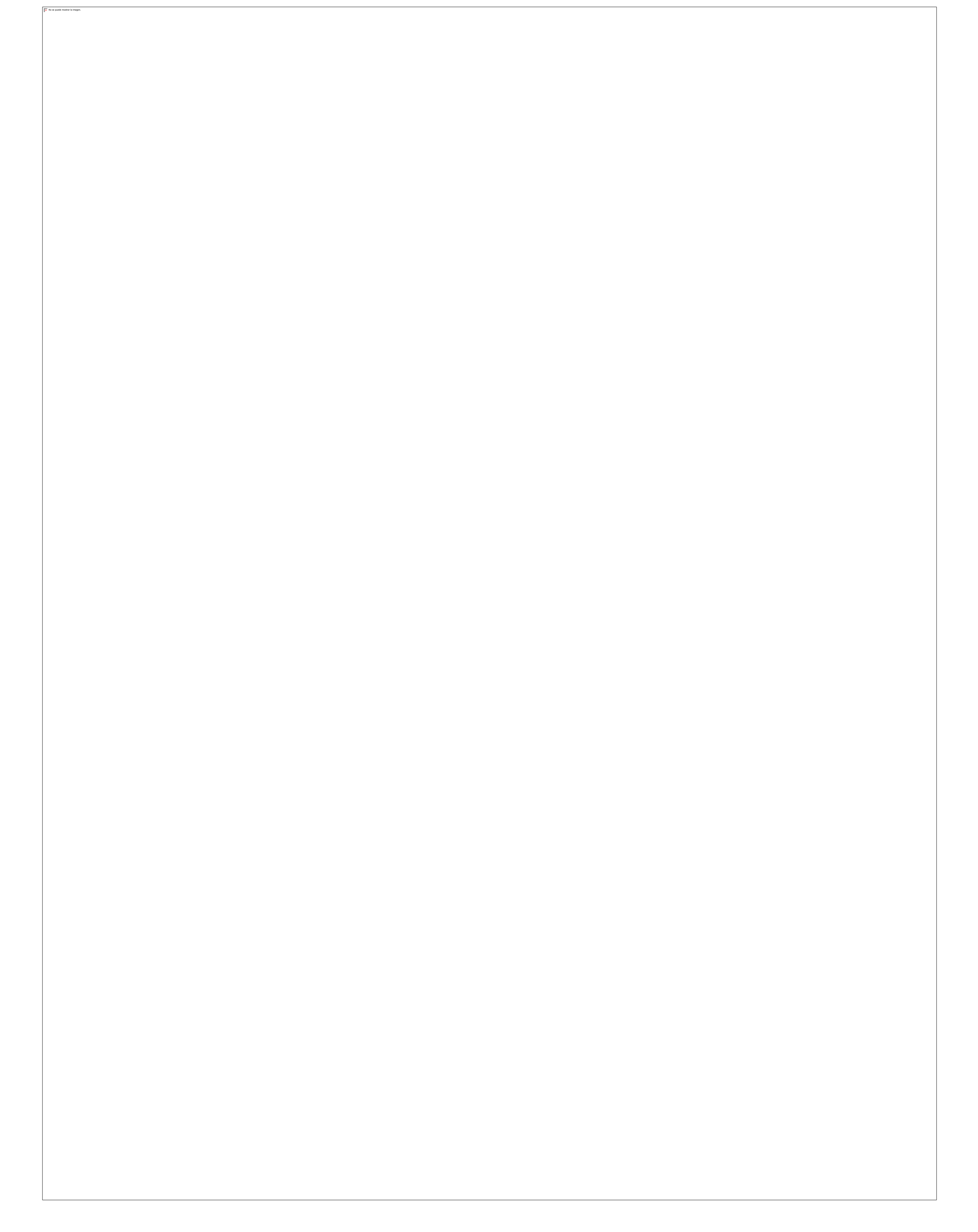

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

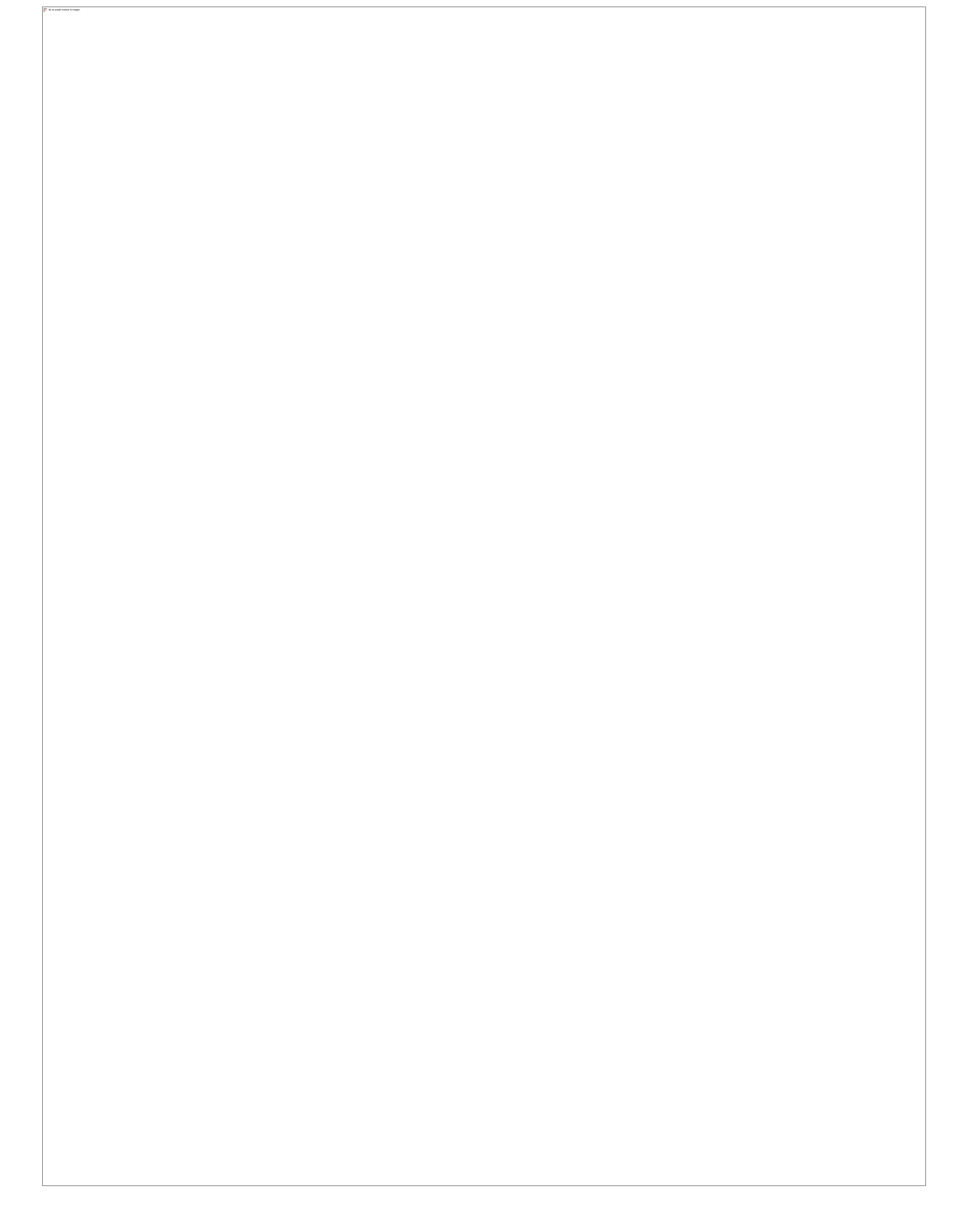

No se puede mostrar la imagen.

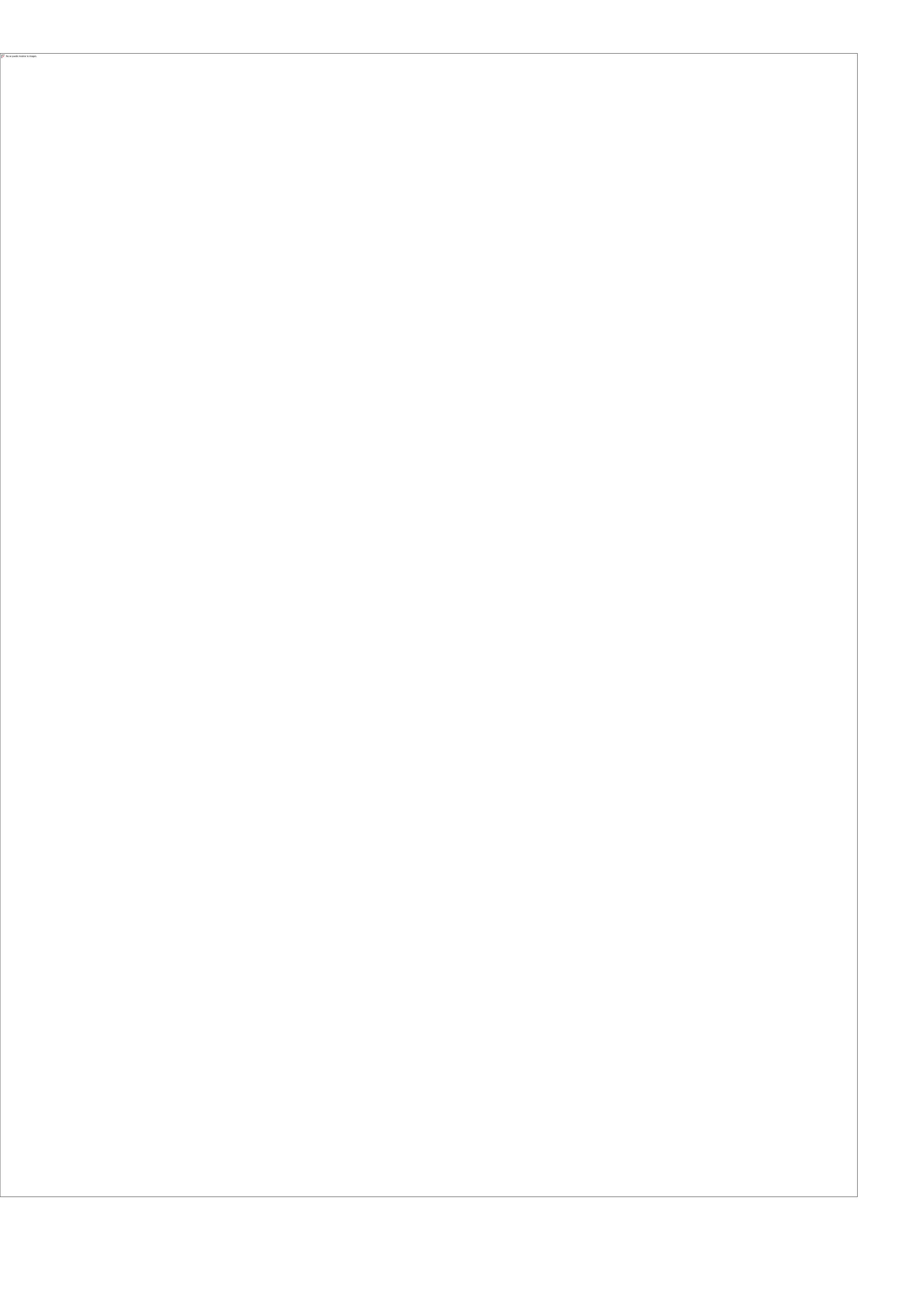

No se puede mostrar la imagen.

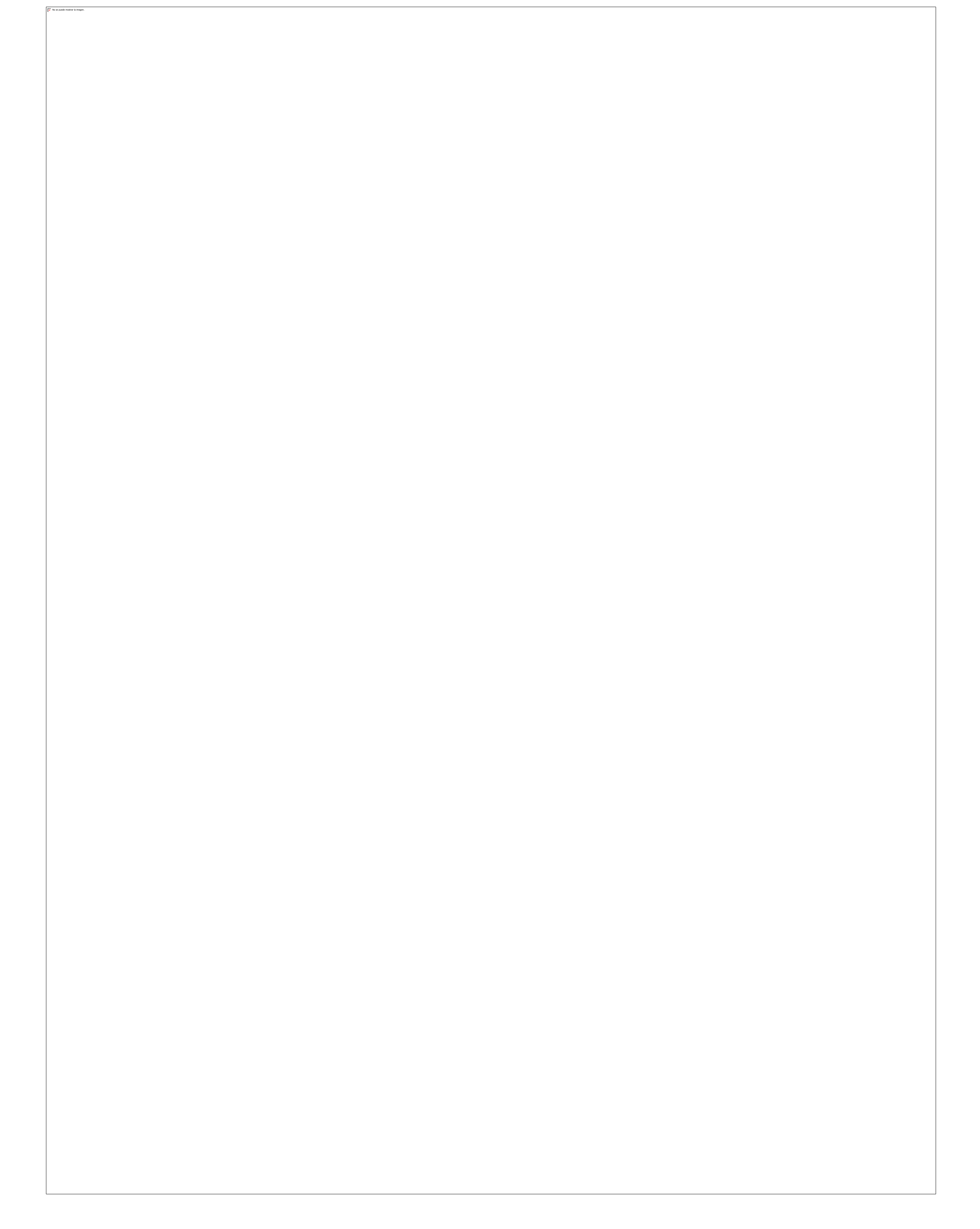

No se puede mostrar la imagen.

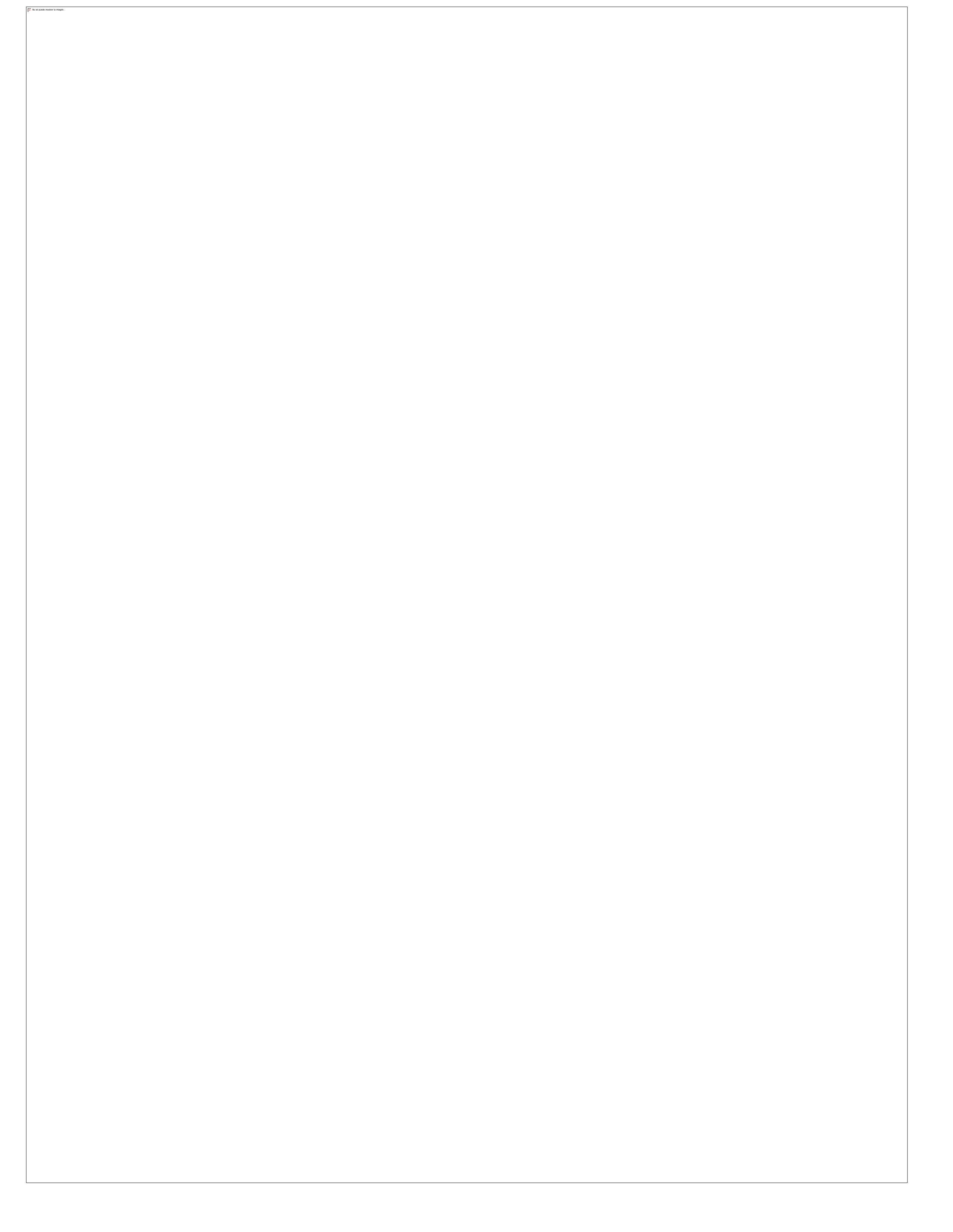

No se puede mostrar la imagen.

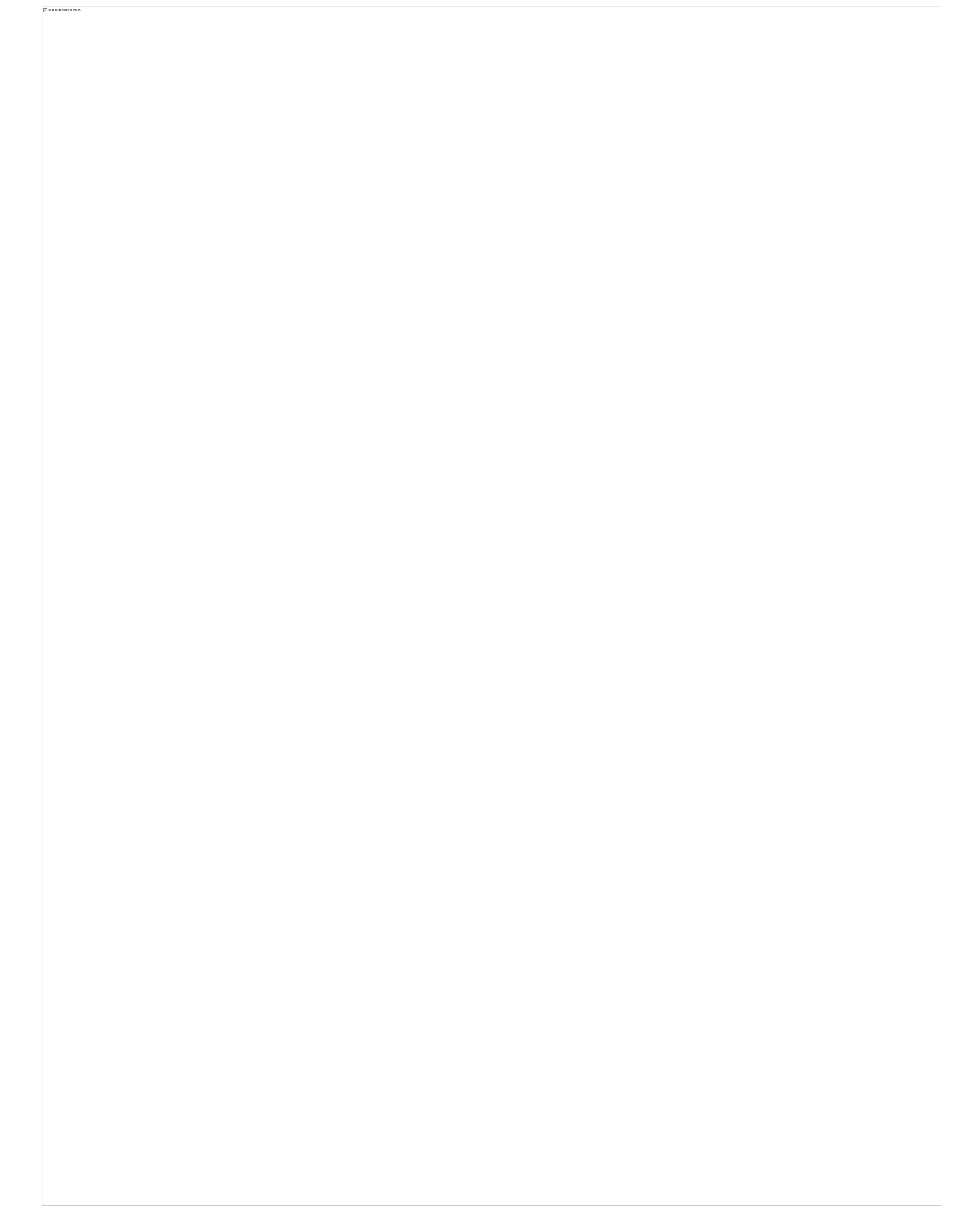
No se puede mostrar la imagen.

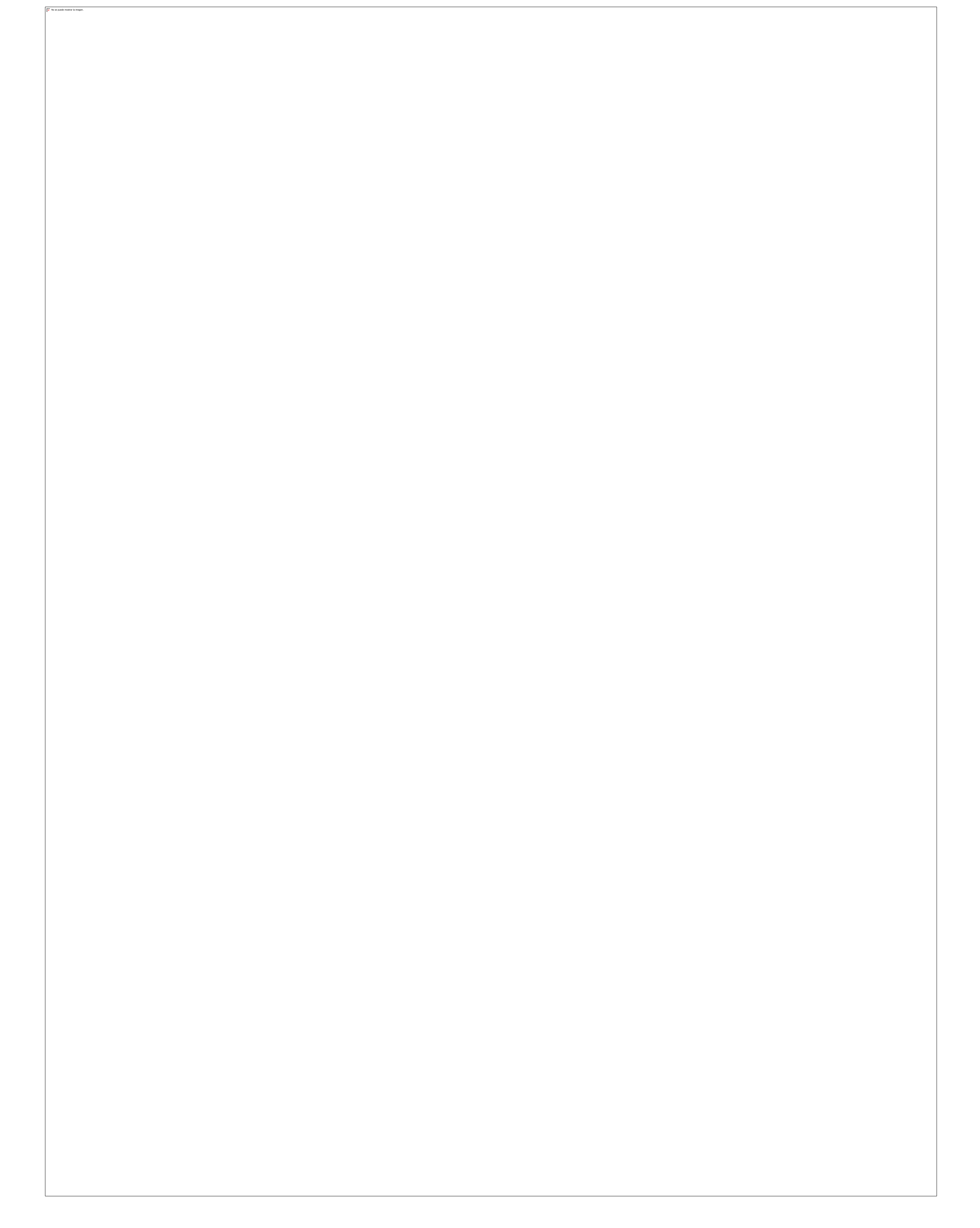

No se puede mostrar la imagen.

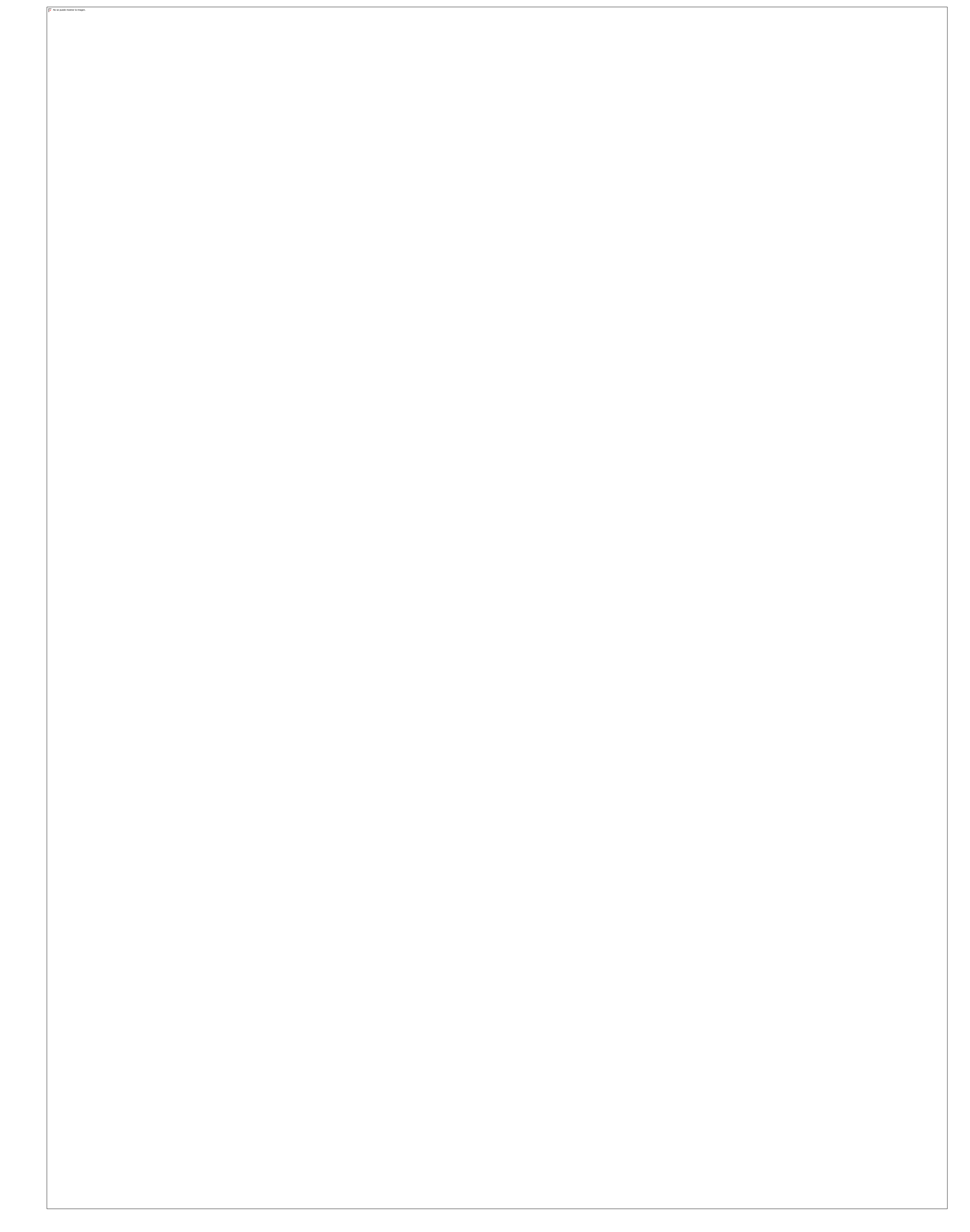

No se puede mostrar la imagen.

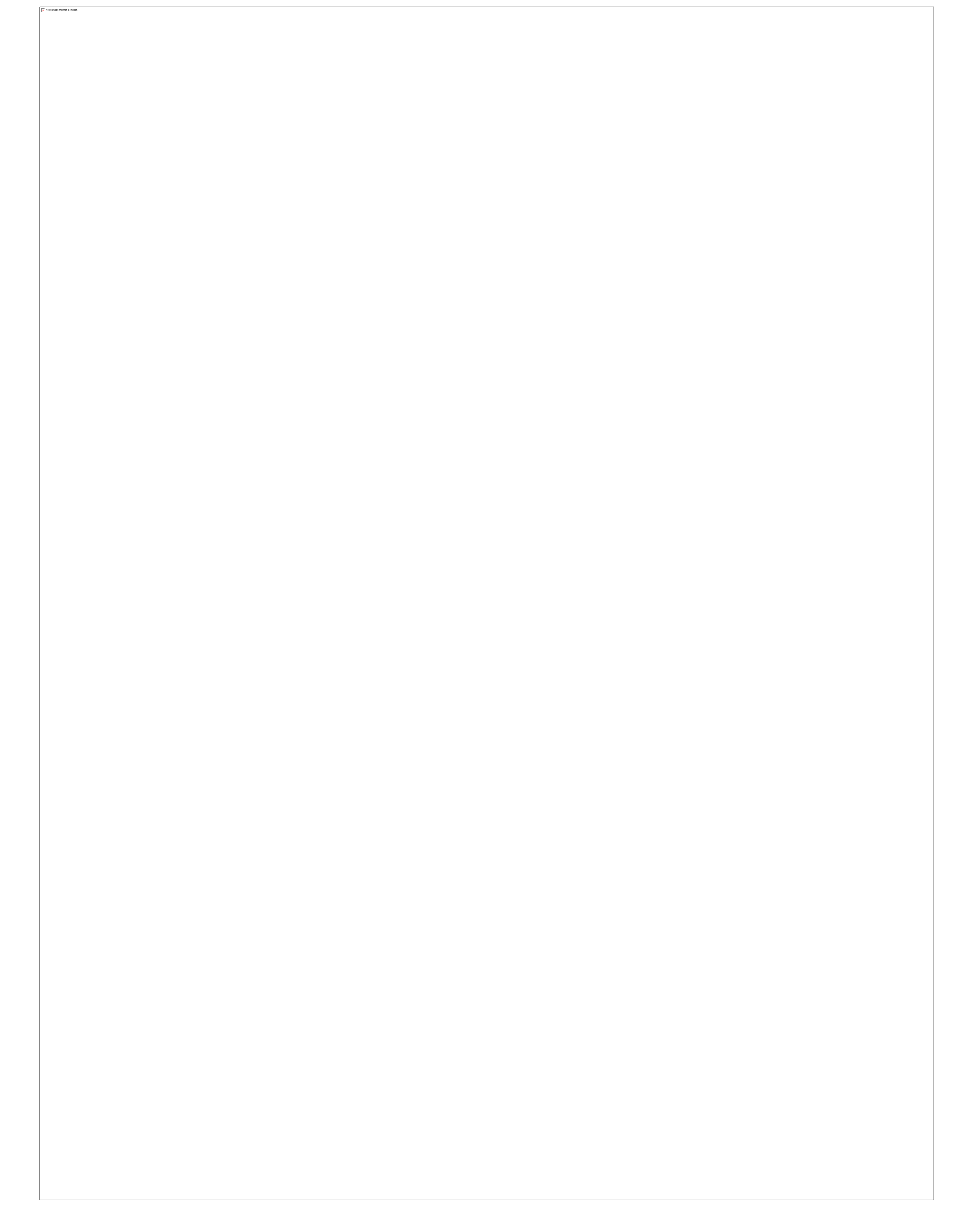

No se puede mostrar la imagen.

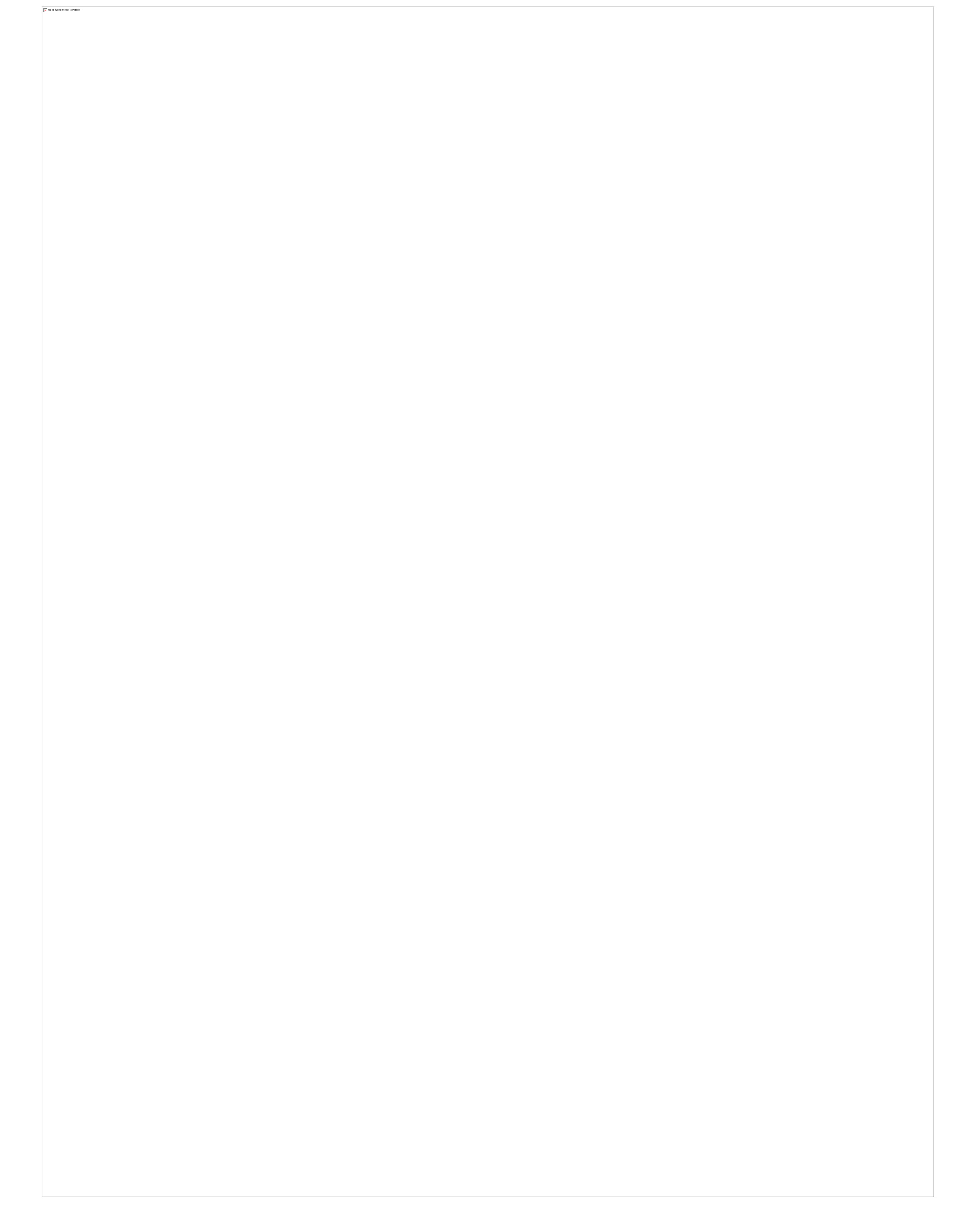

No se puede mostrar la imagen.

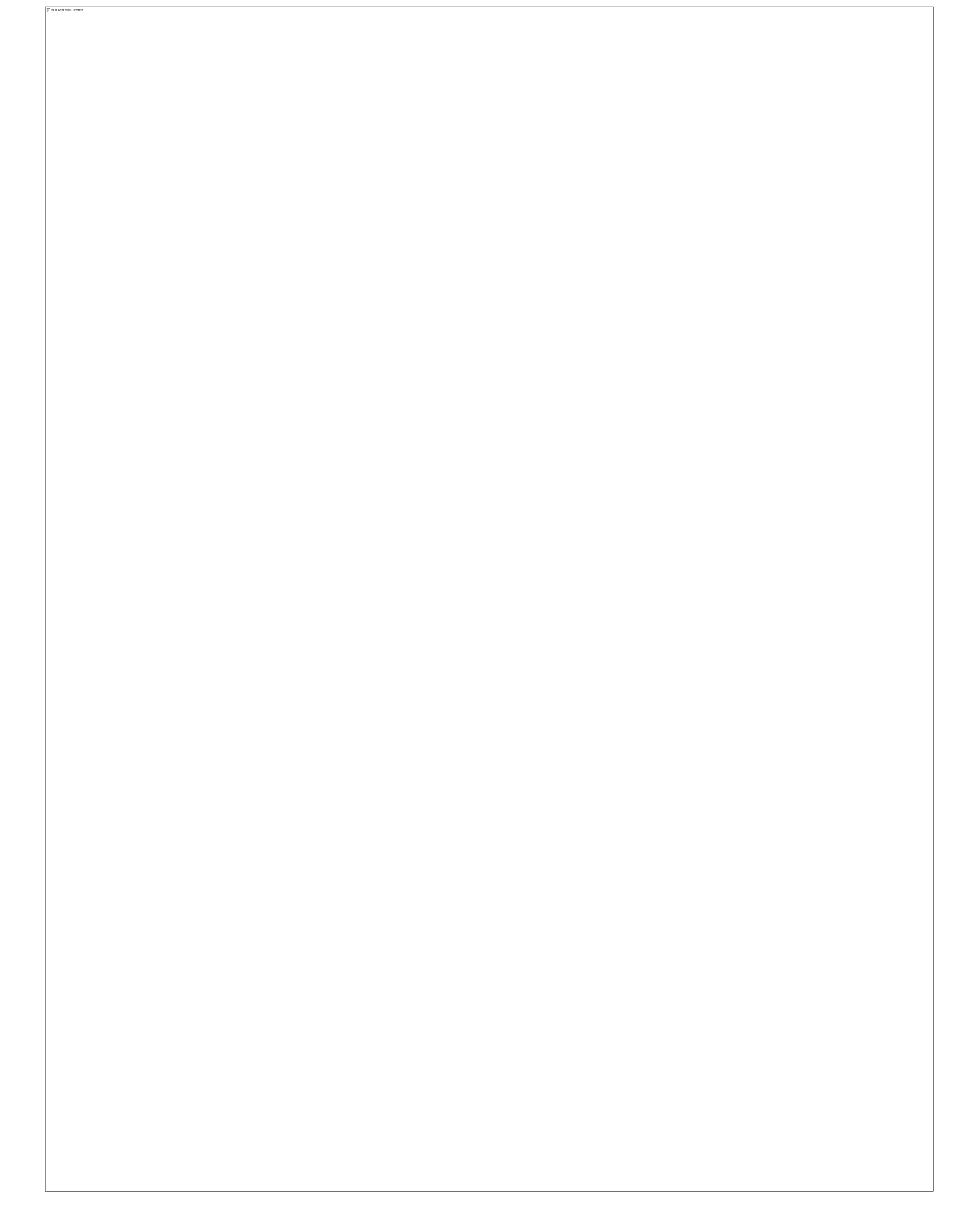

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

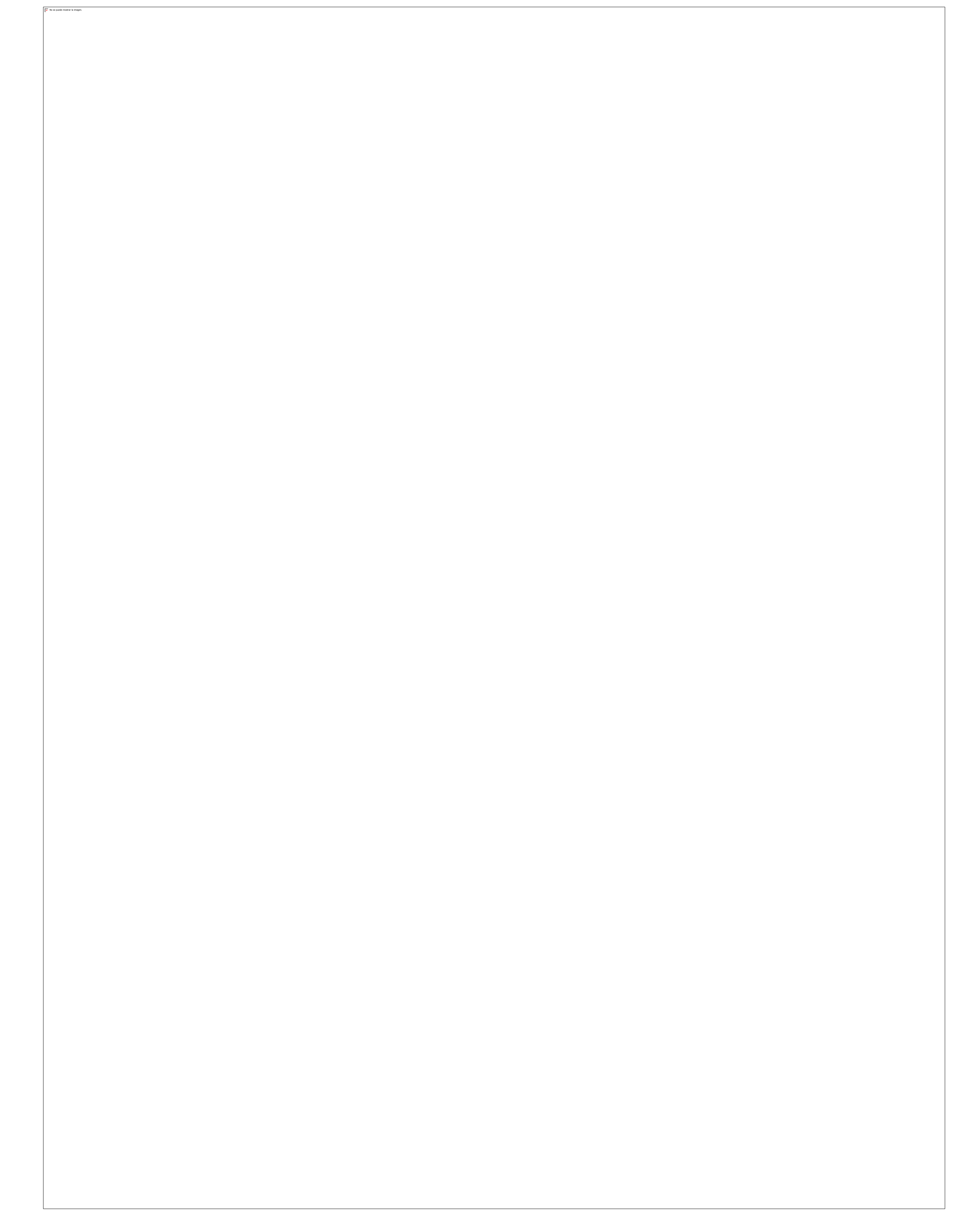

No se puede mostrar la imagen.

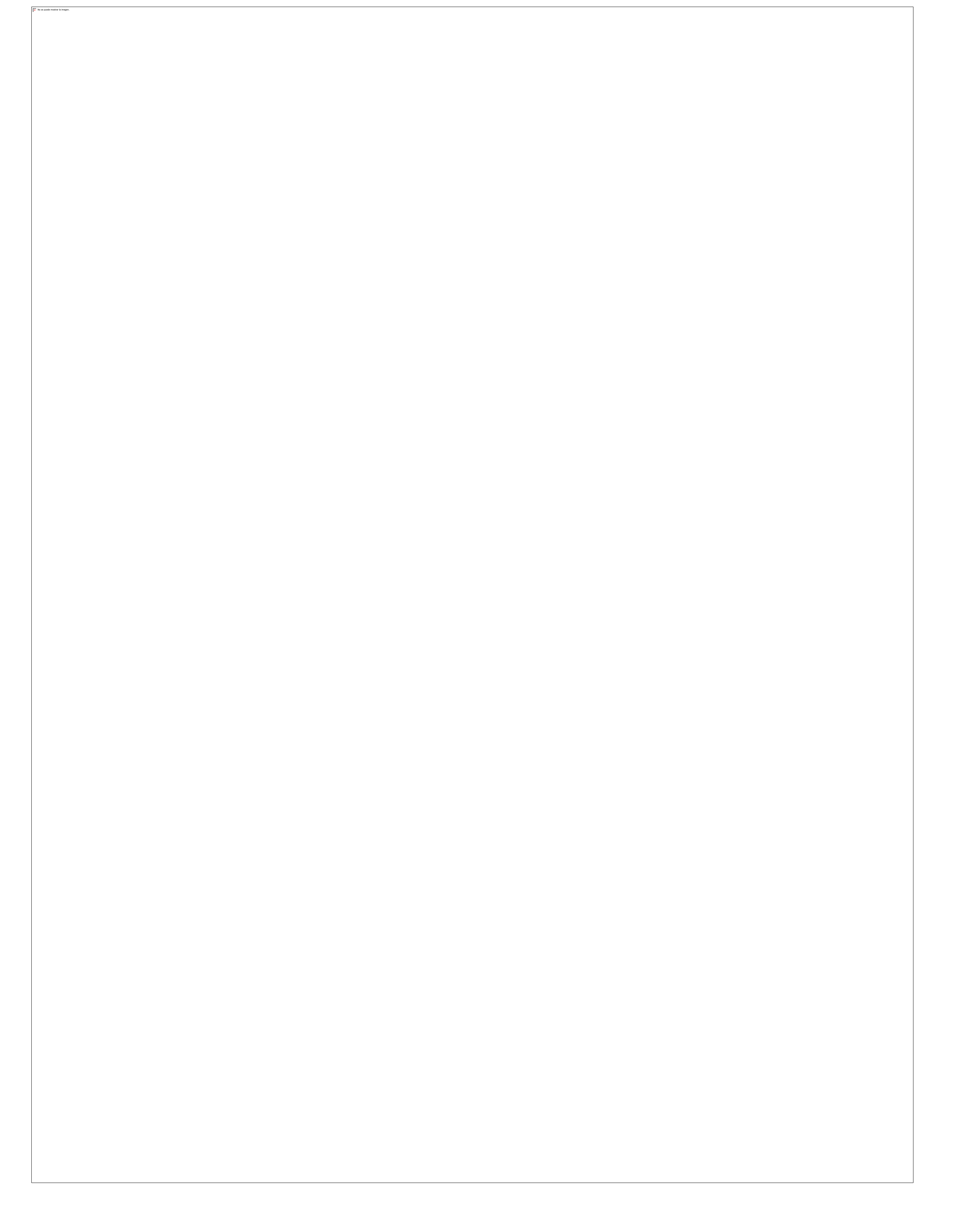

No se puede mostrar la imagen.

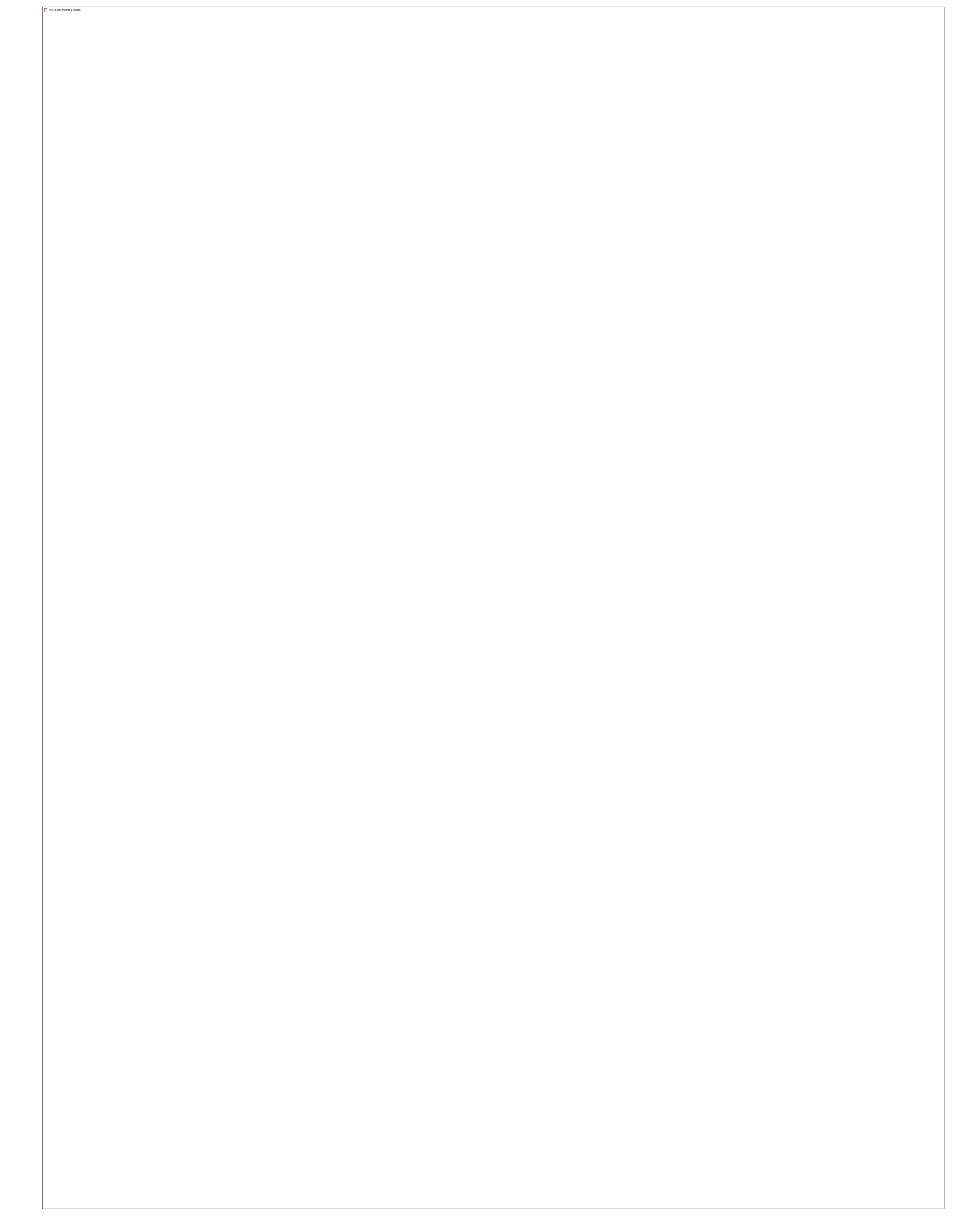

No se puede mostrar la imagen.

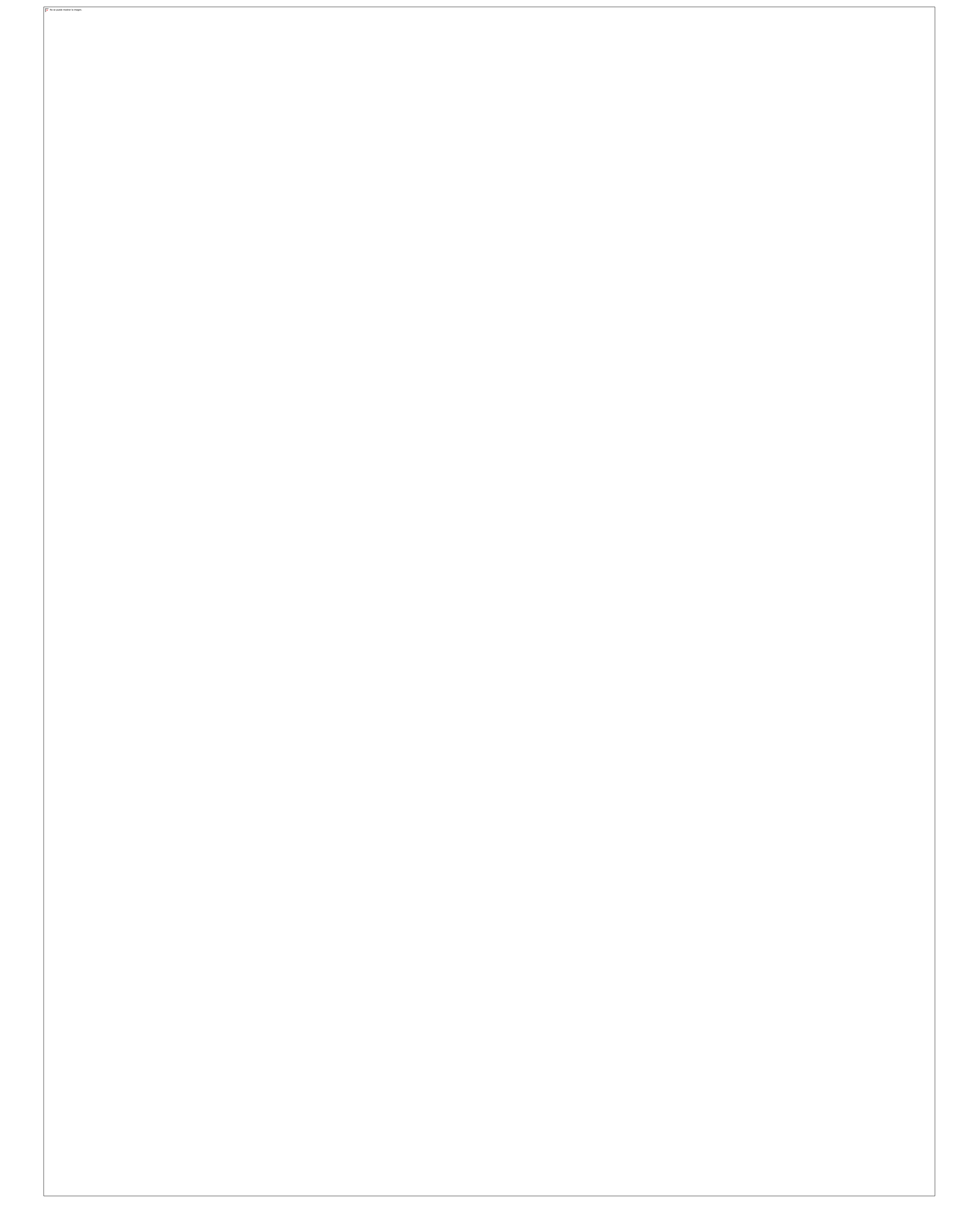

No se puede mostrar la imagen.

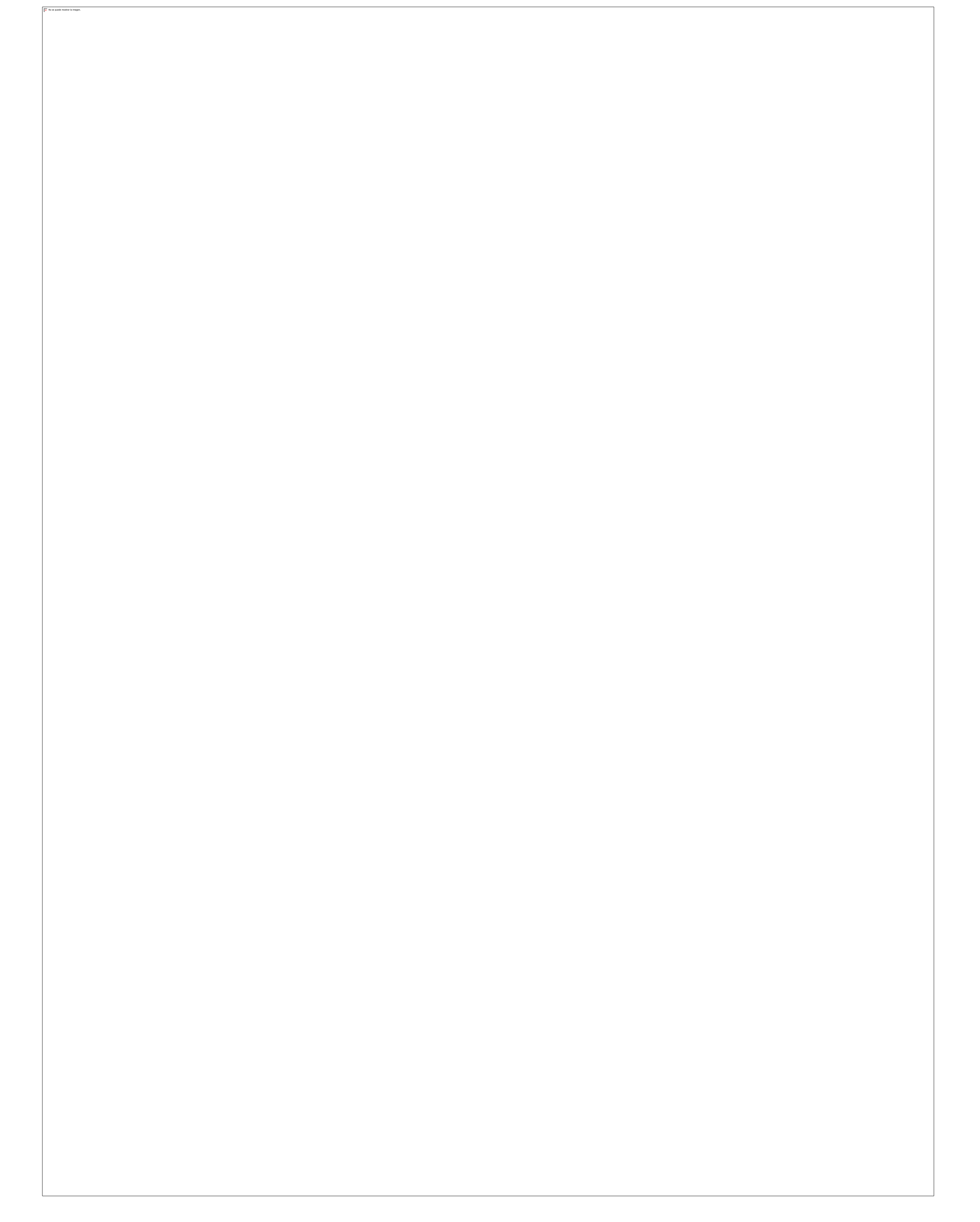
No se puede mostrar la imagen.

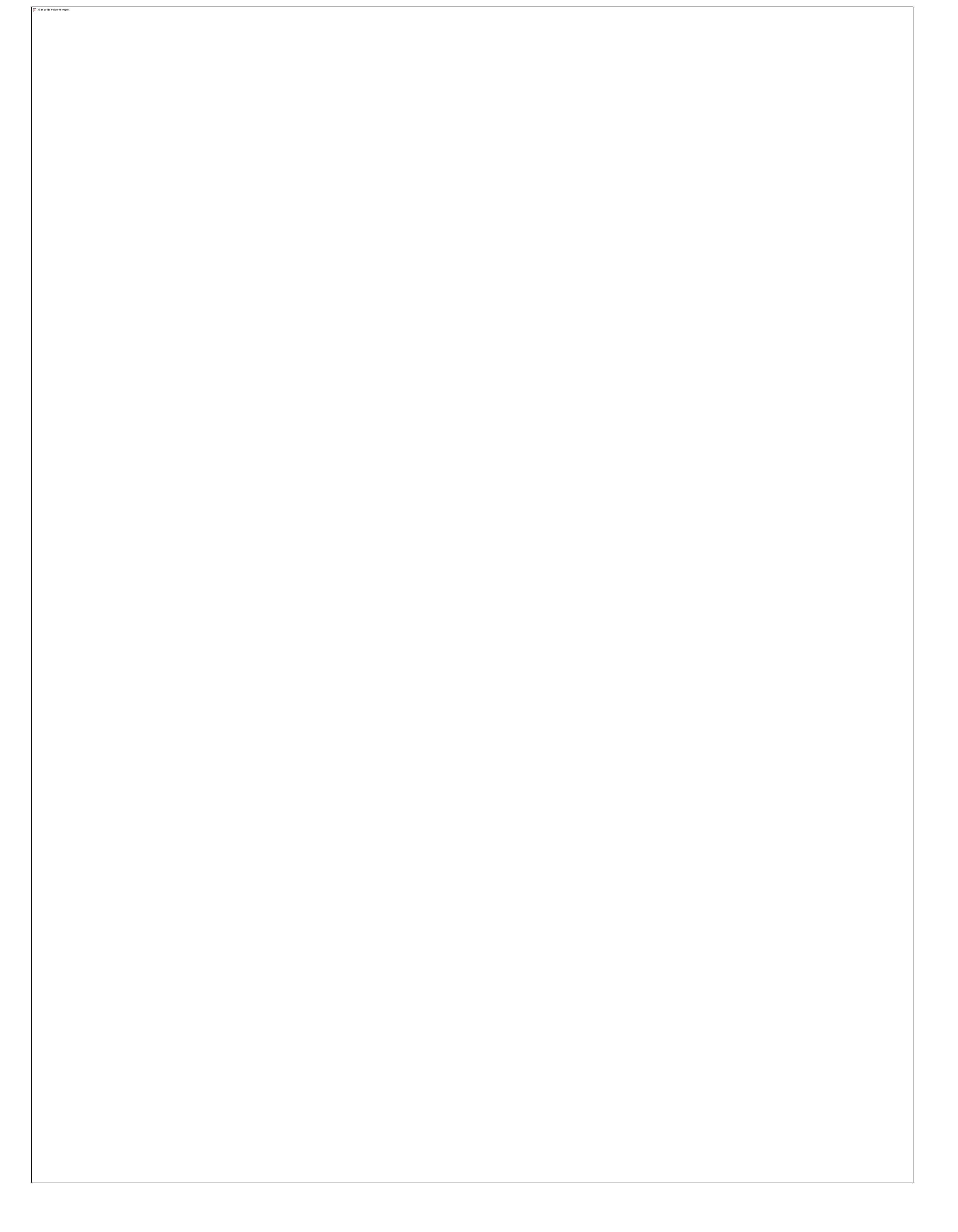

No se puede mostrar la imagen.

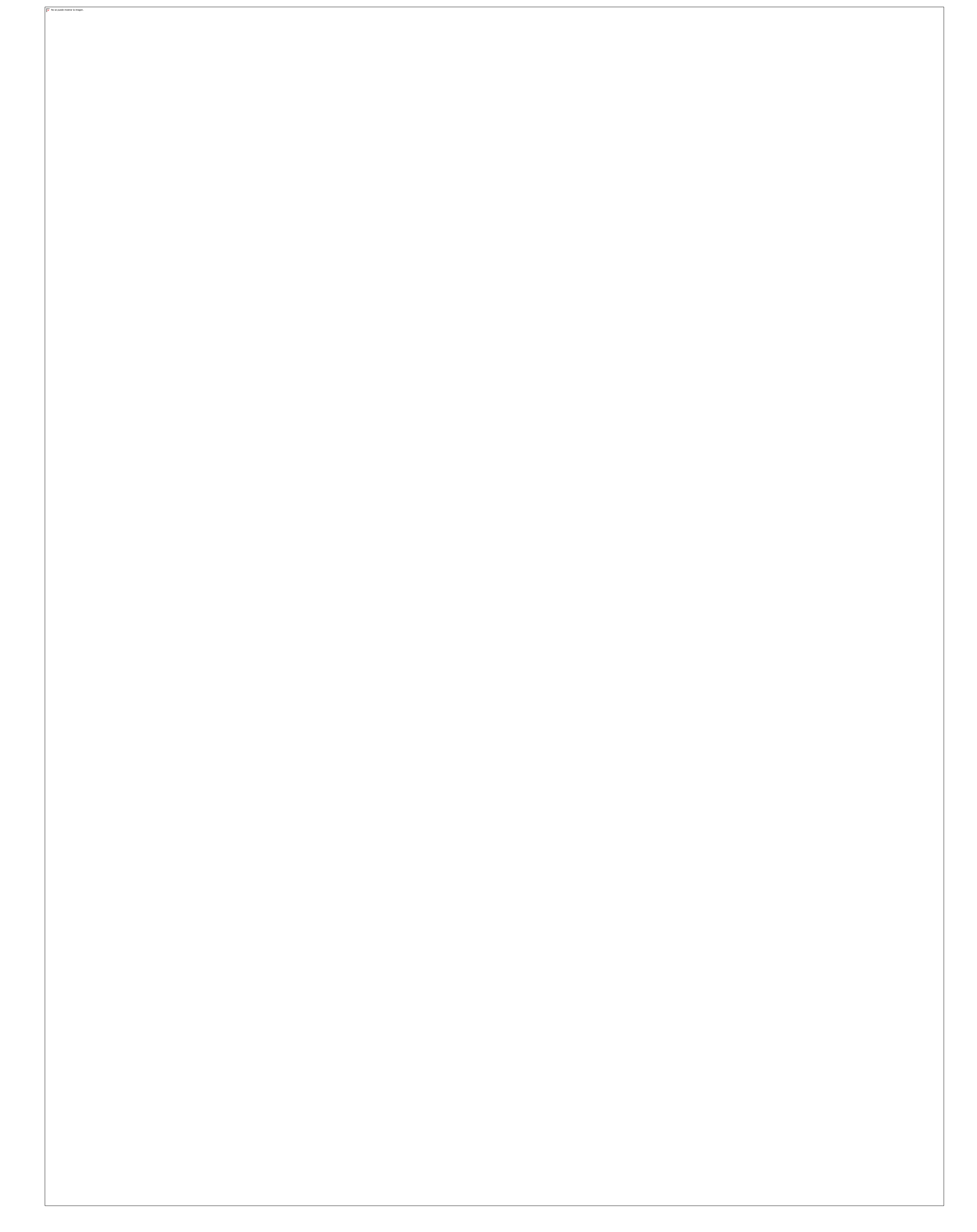

No se puede mostrar la imagen.

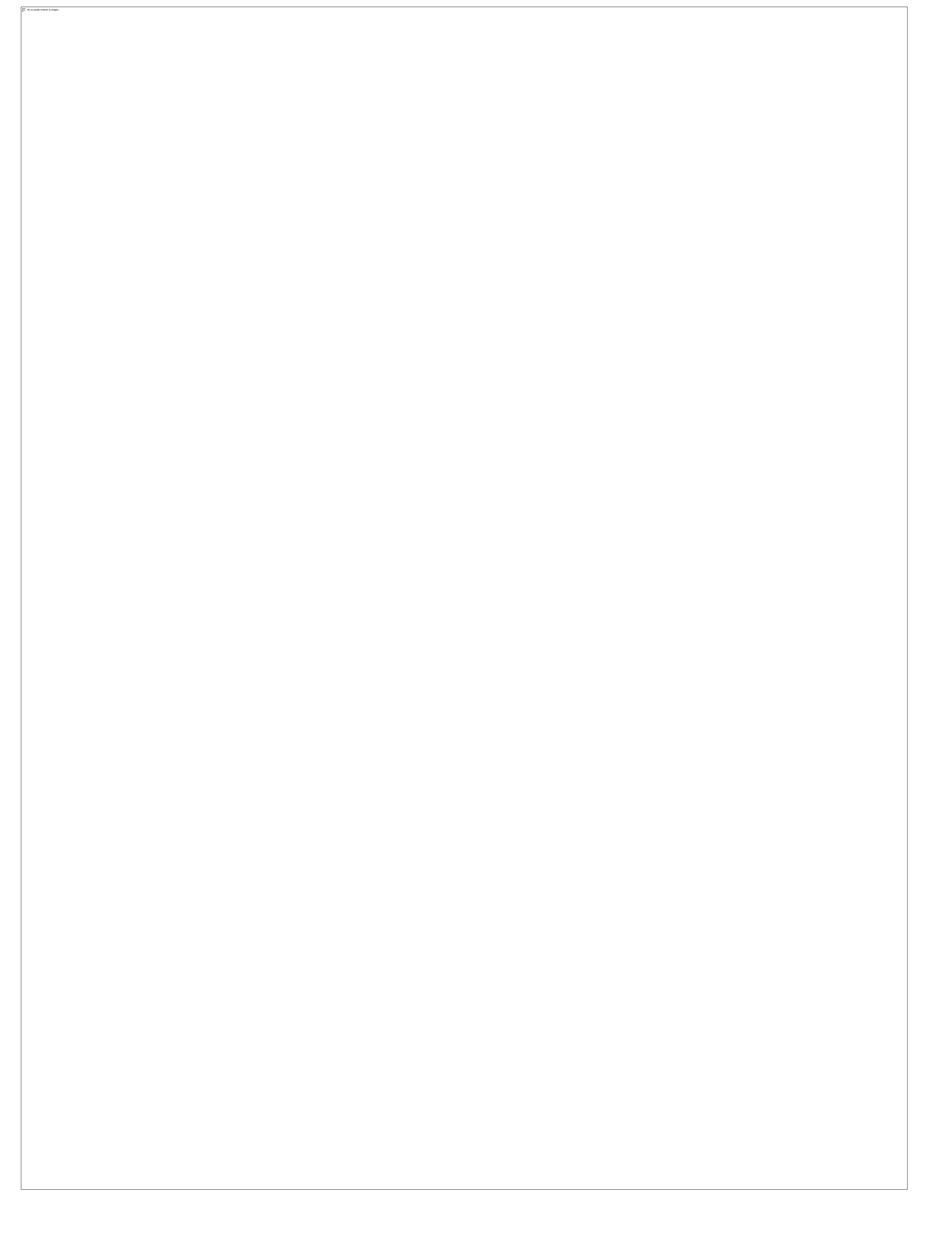

No se puede mostrar la imagen.

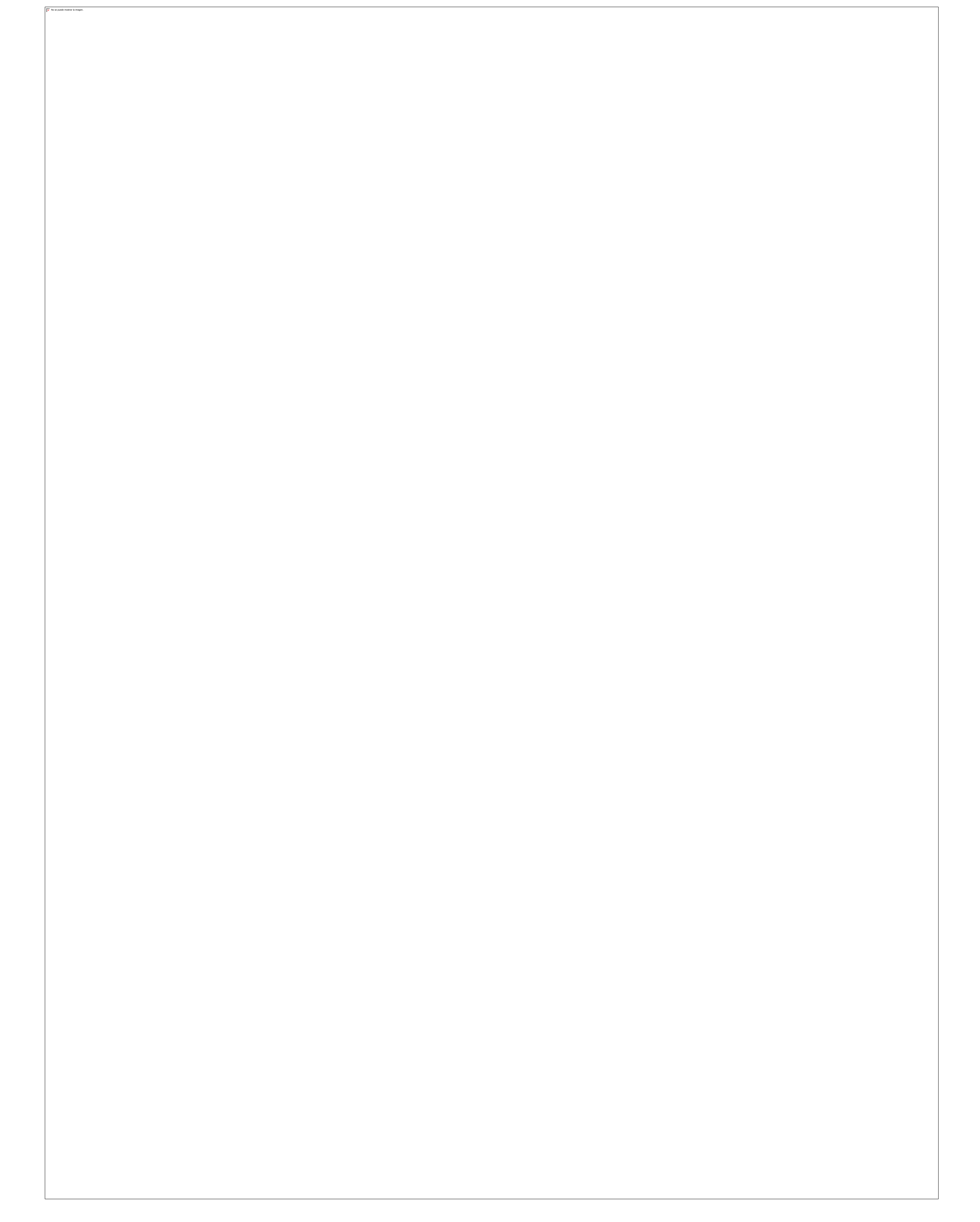

No se puede mostrar la imagen.

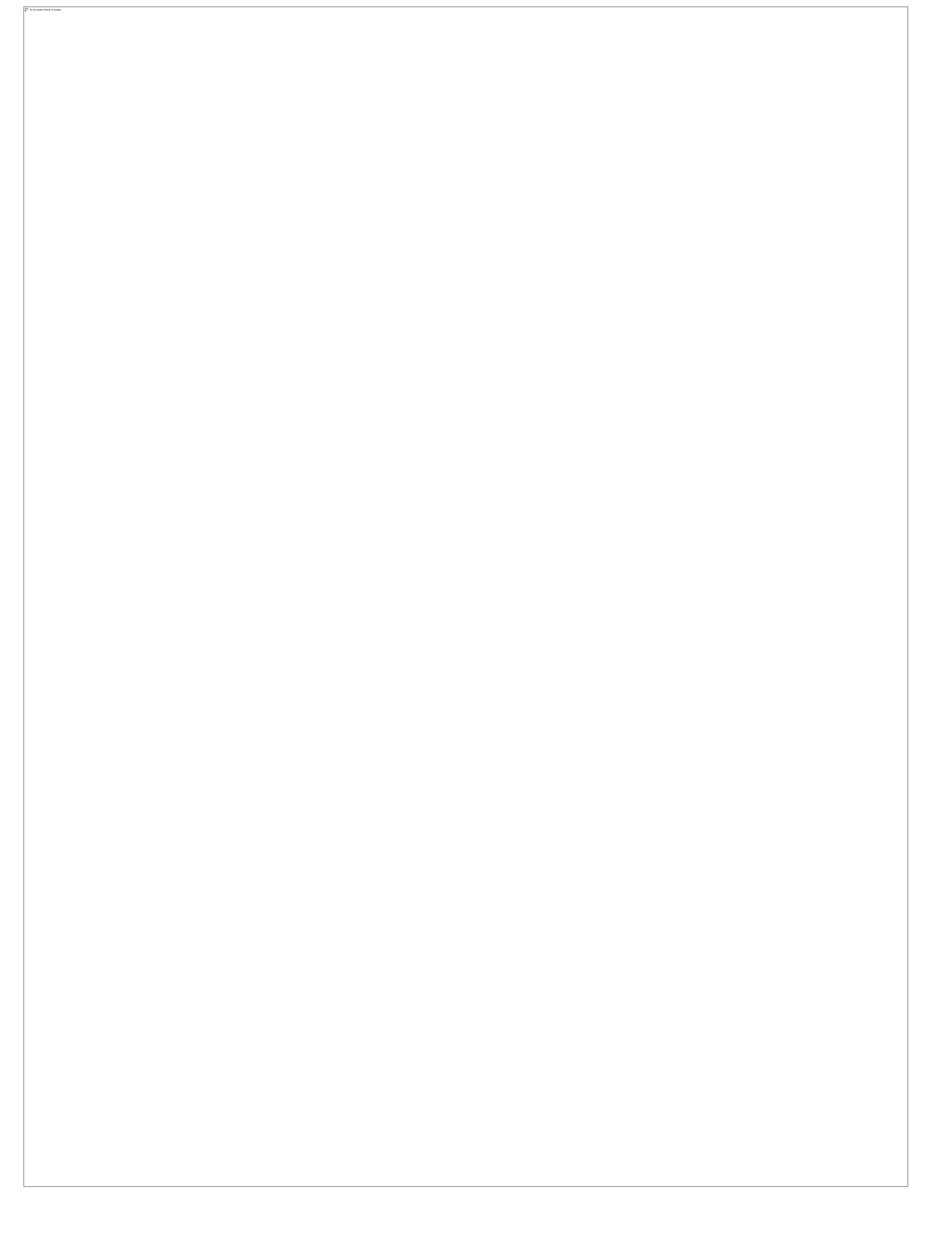

No se puede mostrar la imagen.

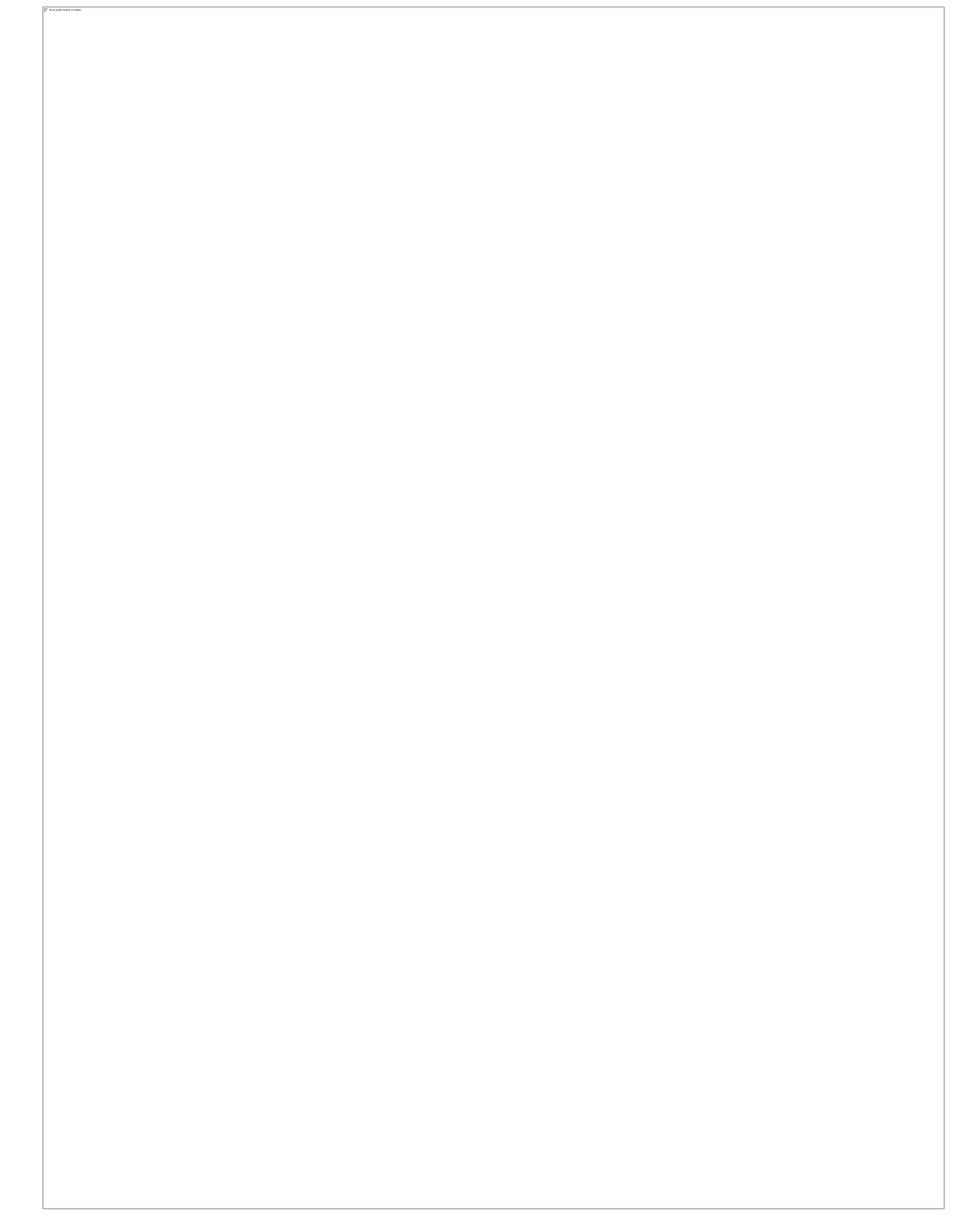

No se puede mostrar la imagen.

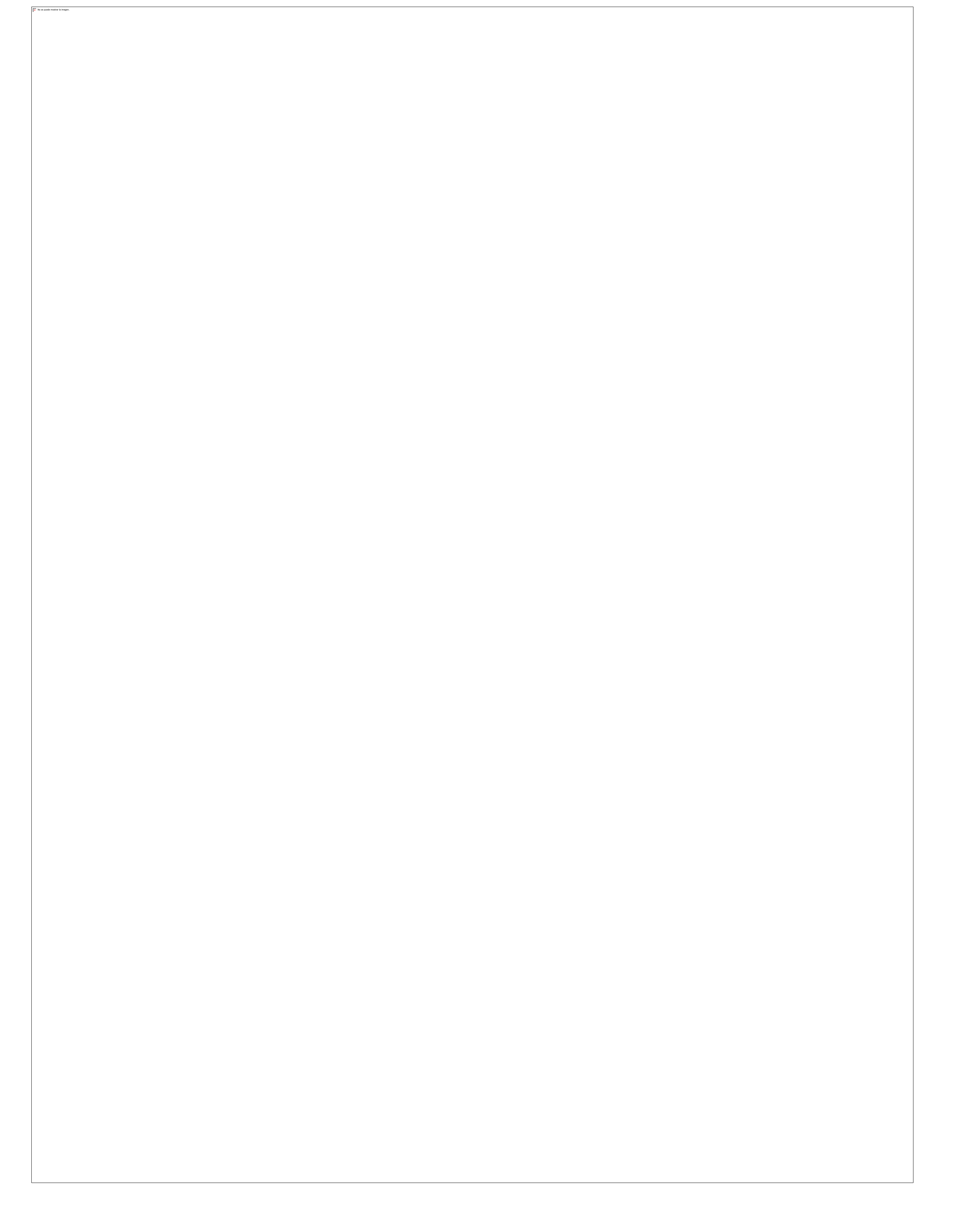

No se puede mostrar la imagen.

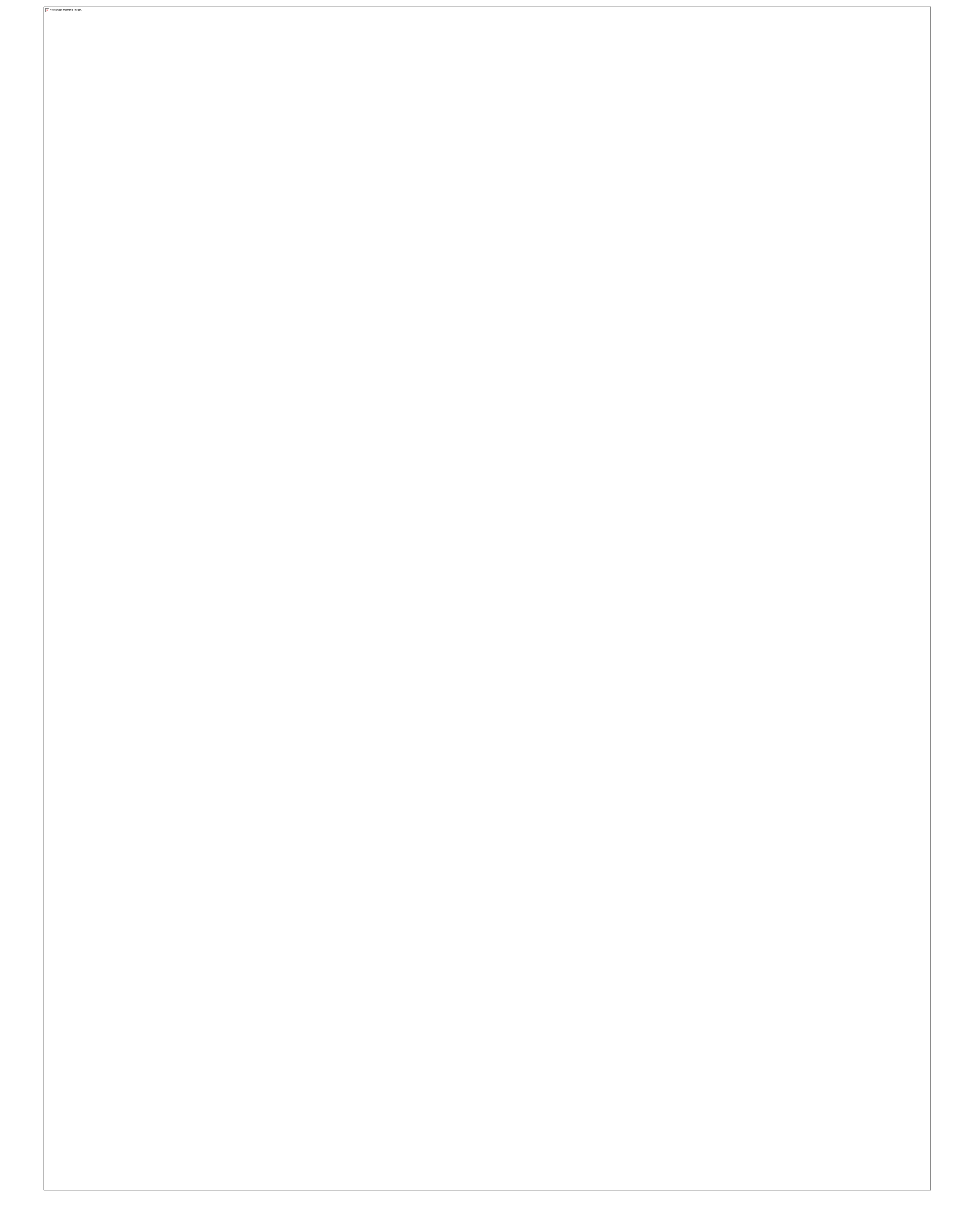

No se puede mostrar la imagen.

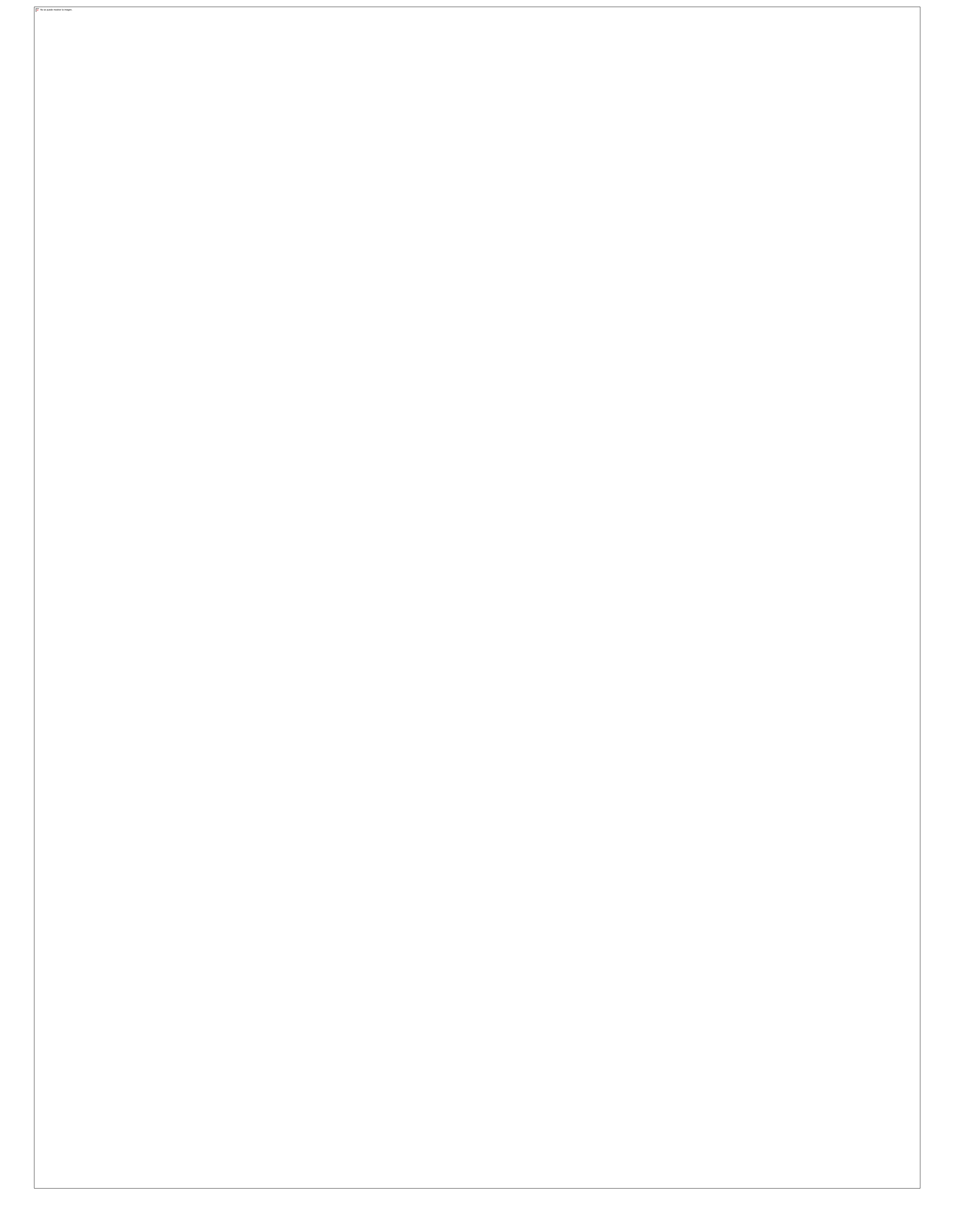

No se puede mostrar la imagen.

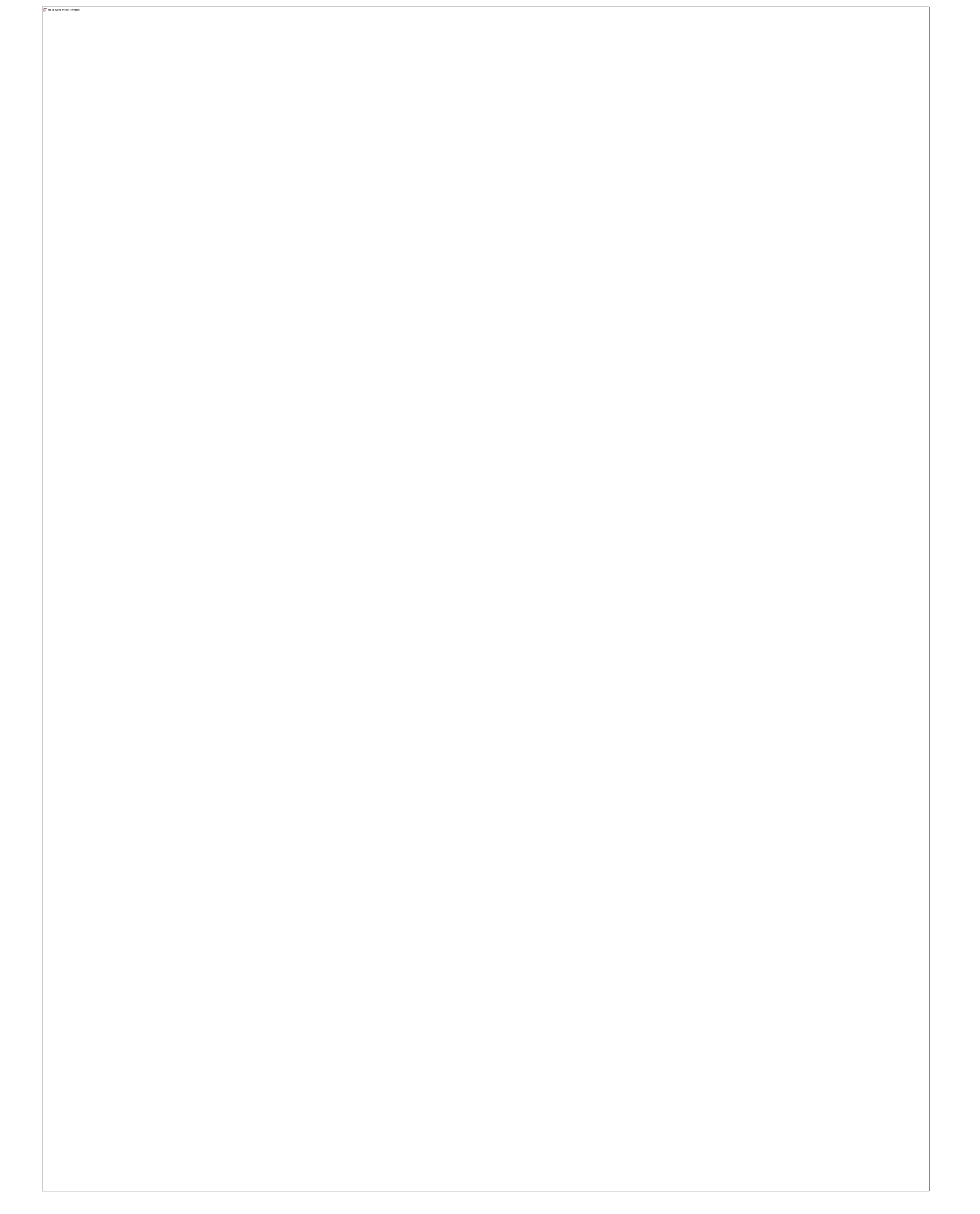

No se puede mostrar la imagen.

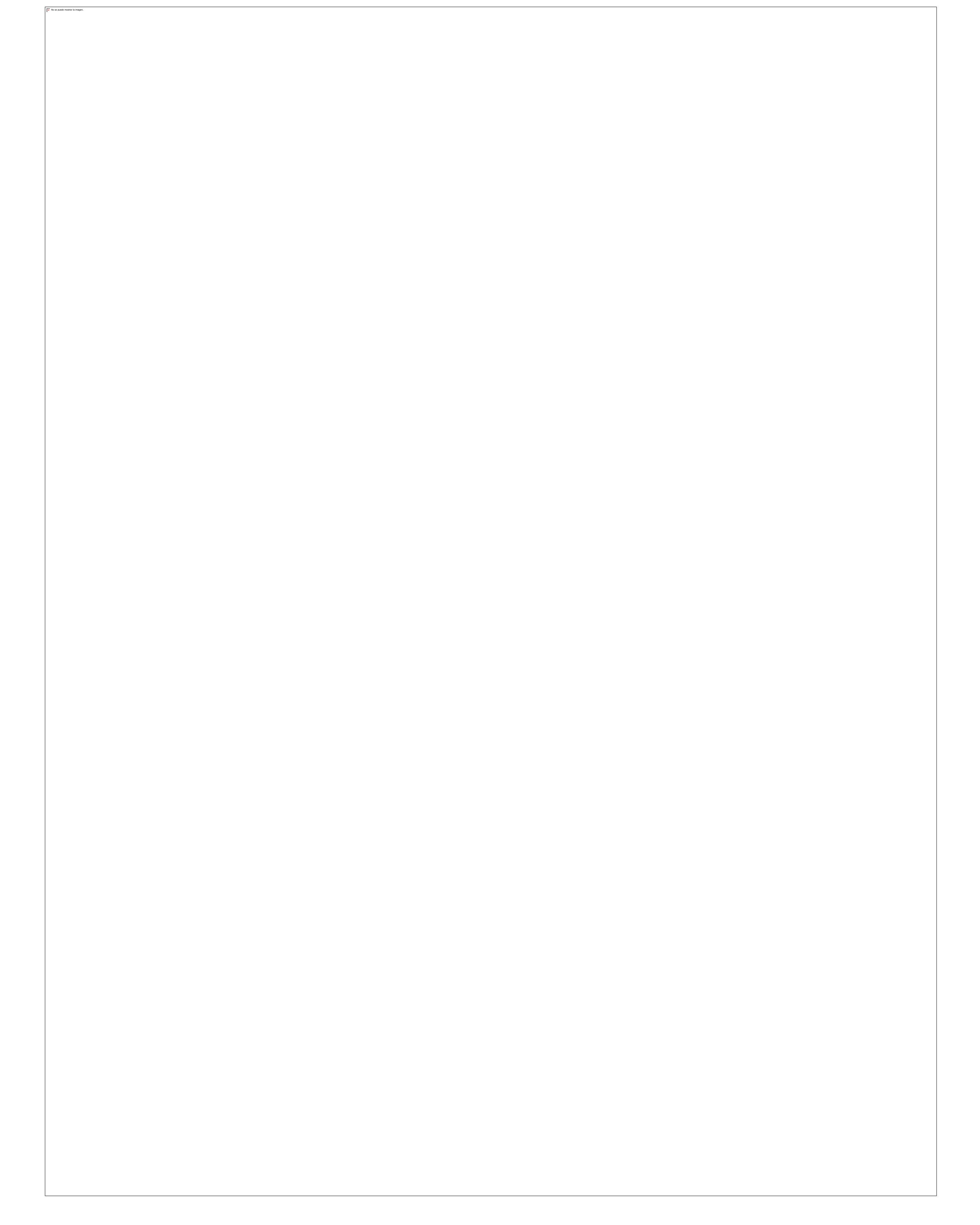

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

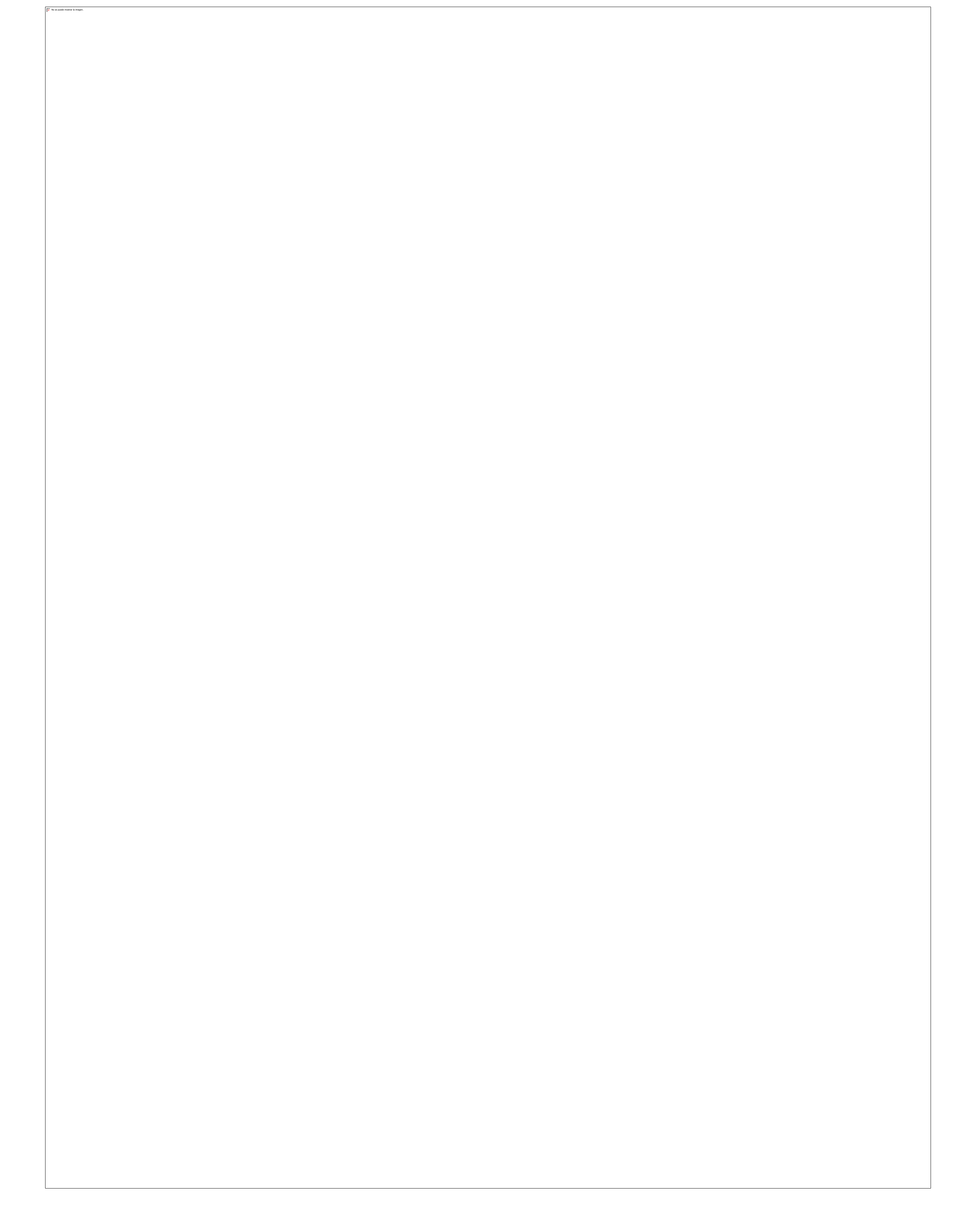

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

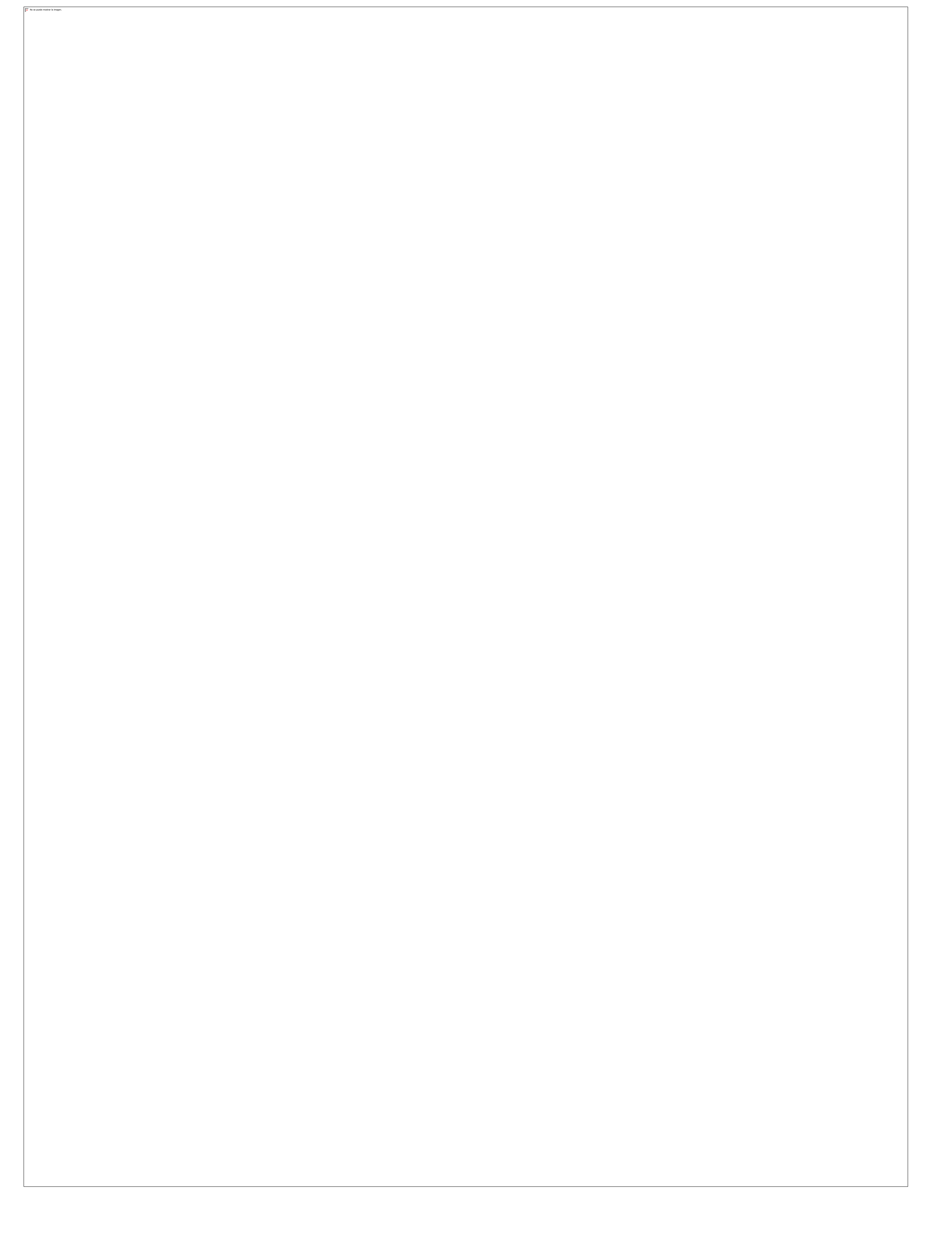

No se puede mostrar la imagen.

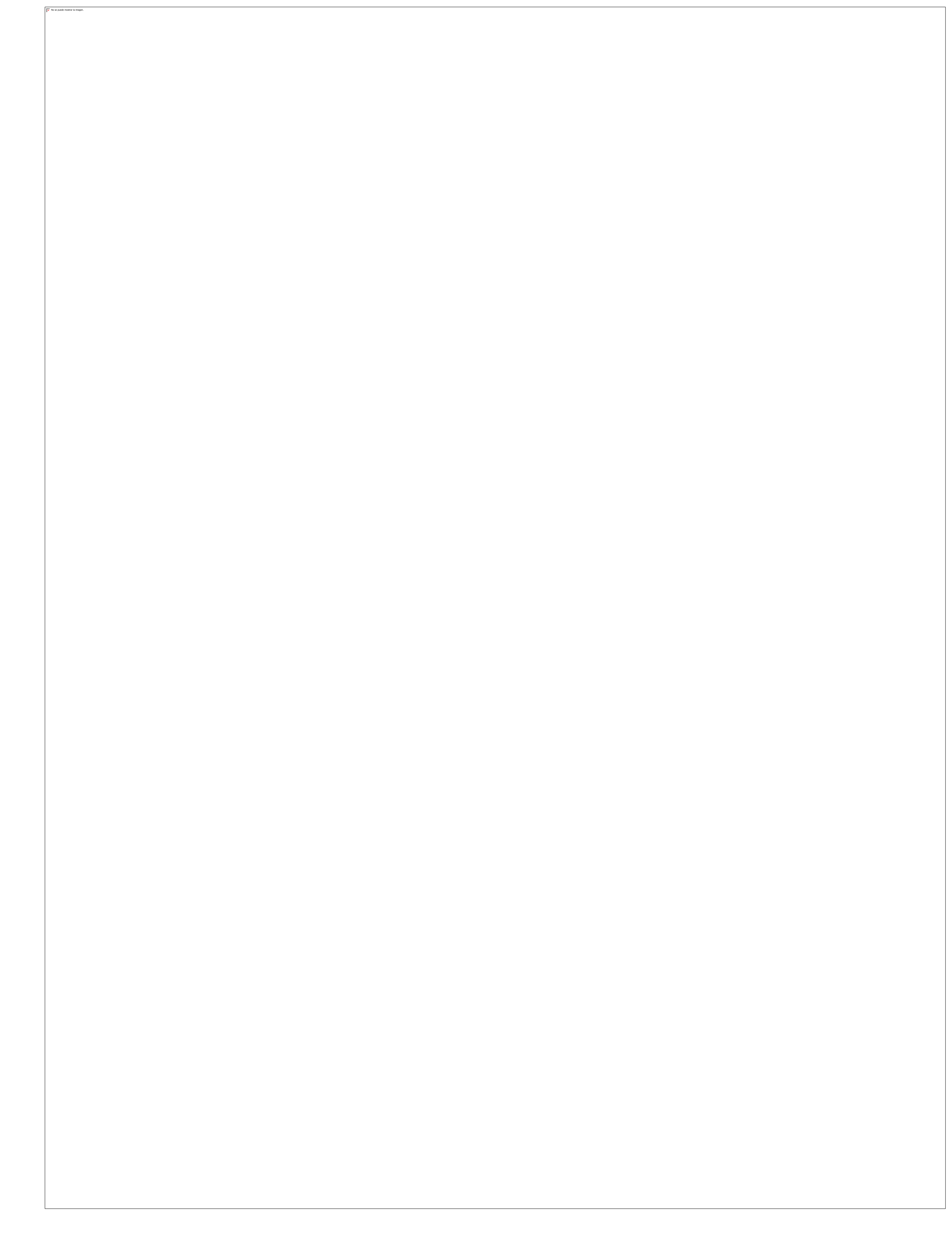

No se puede mostrar la imagen.

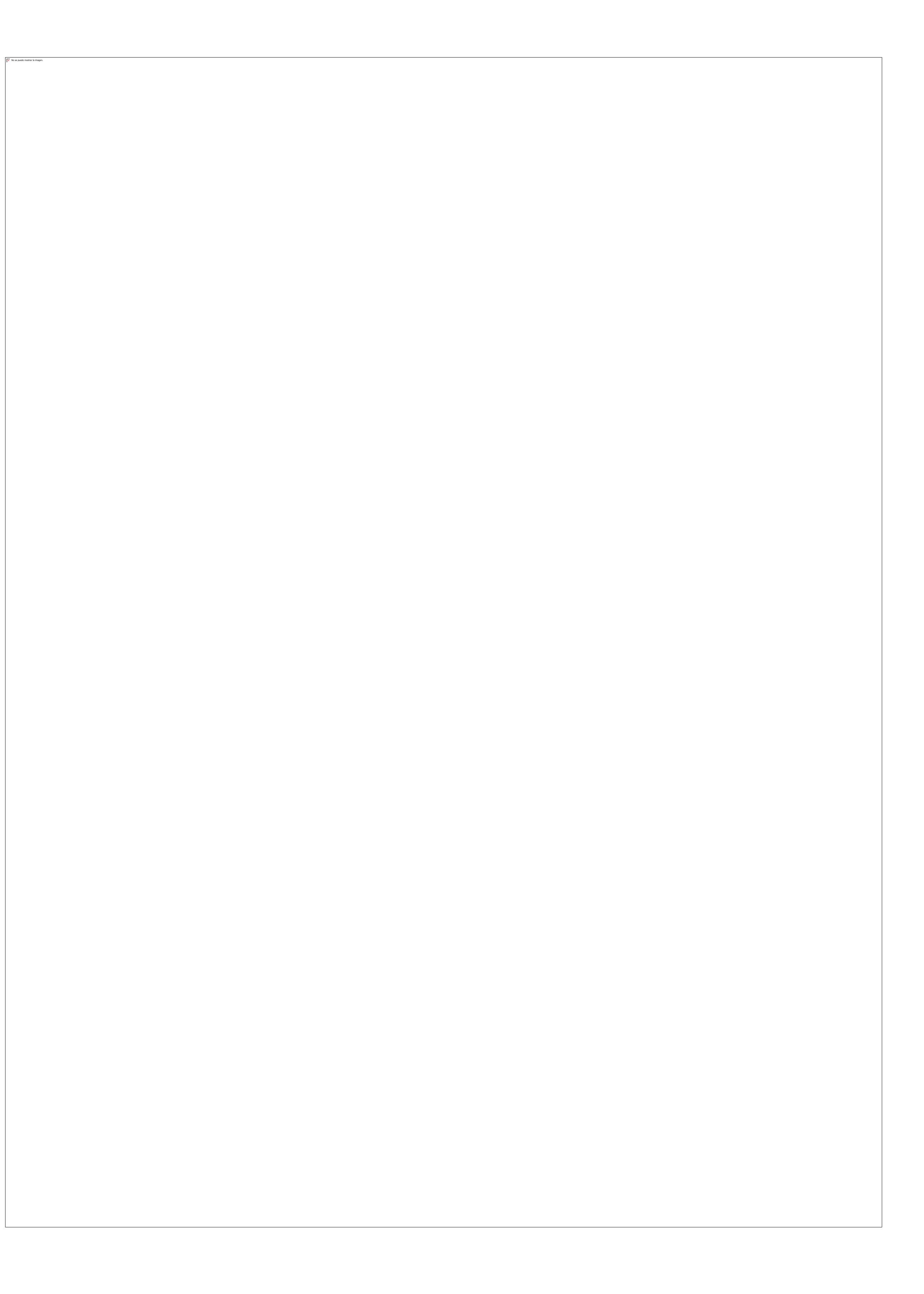
No se puede mostrar la imagen.

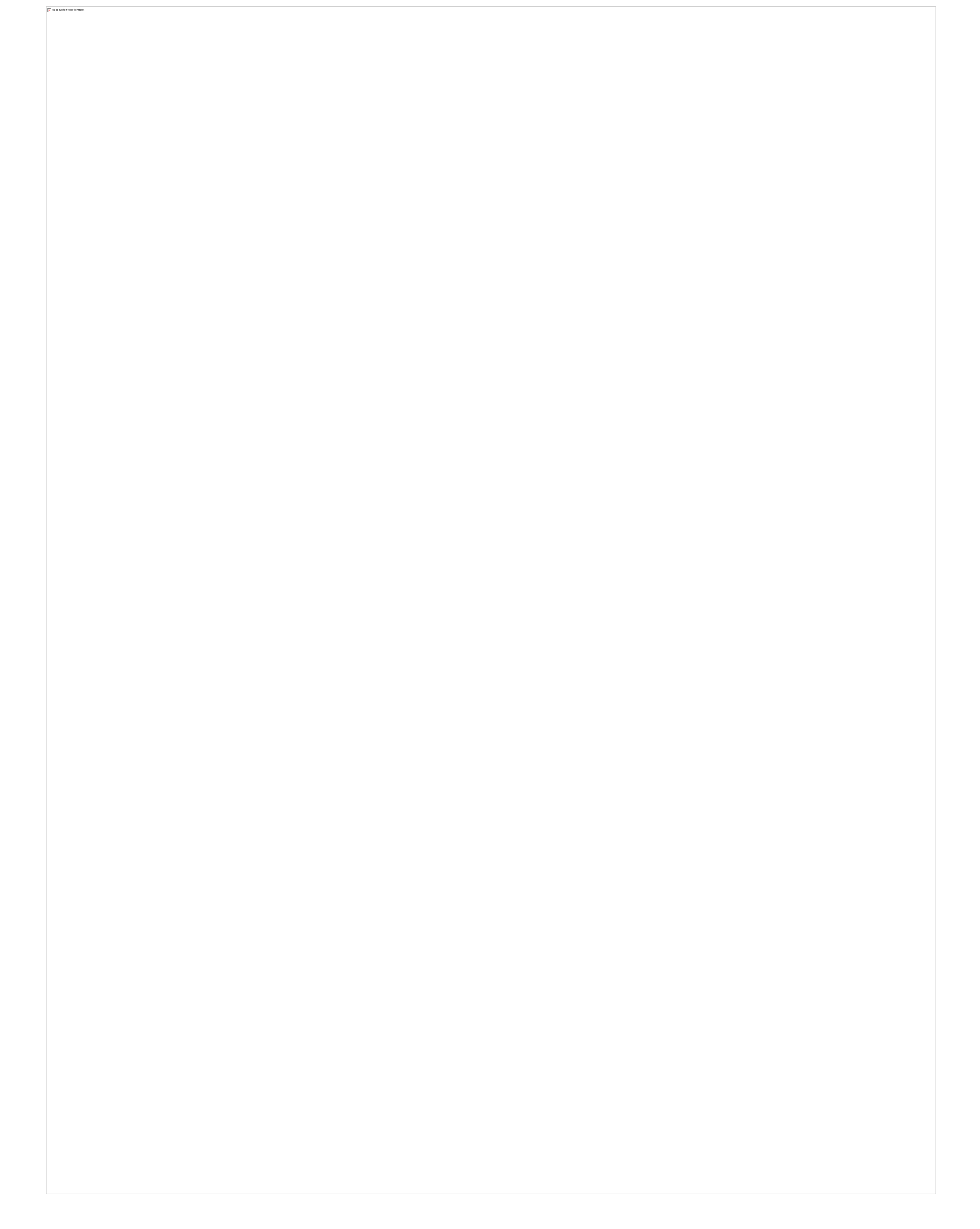

No se puede mostrar la imagen.

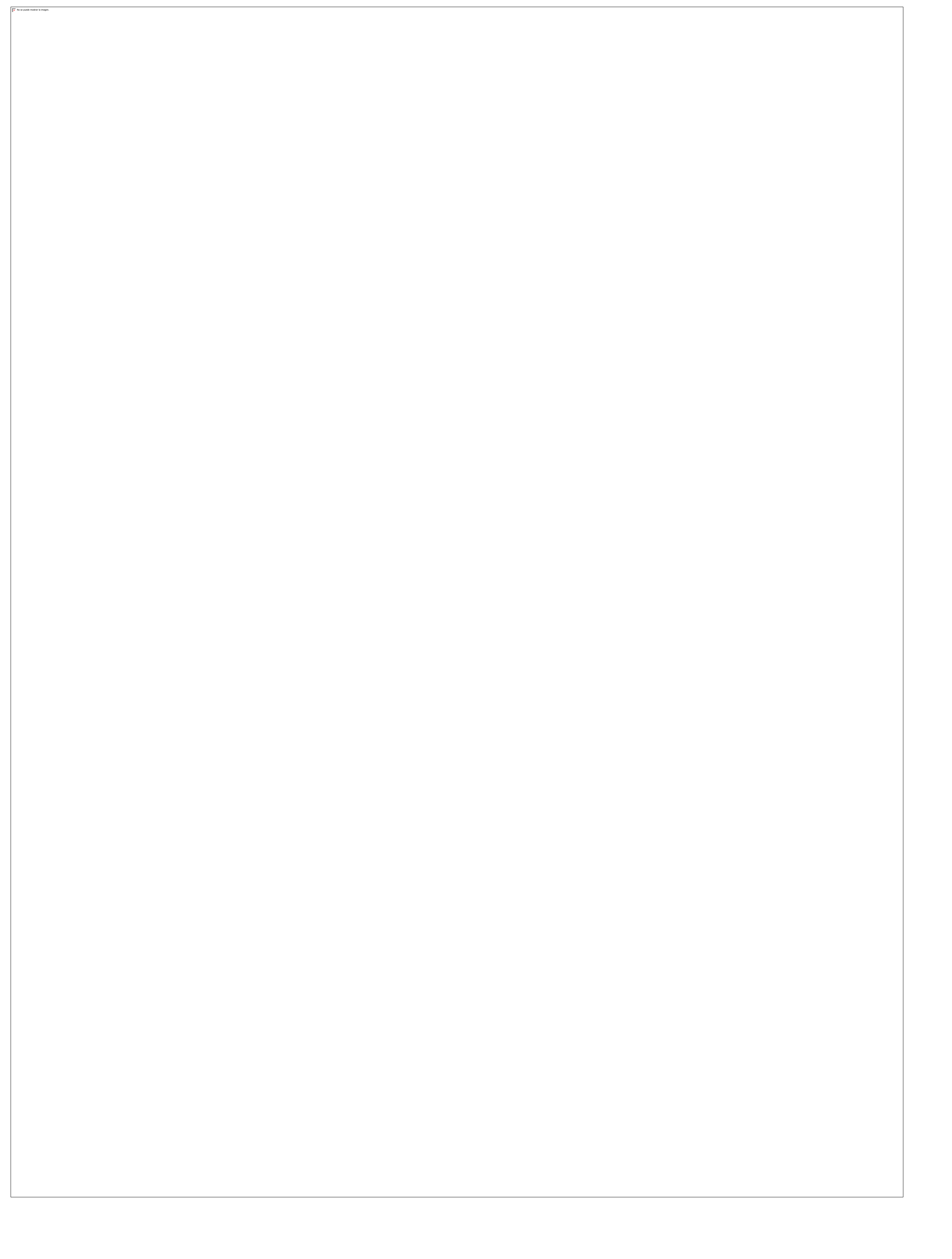
No se puede mostrar la imagen.

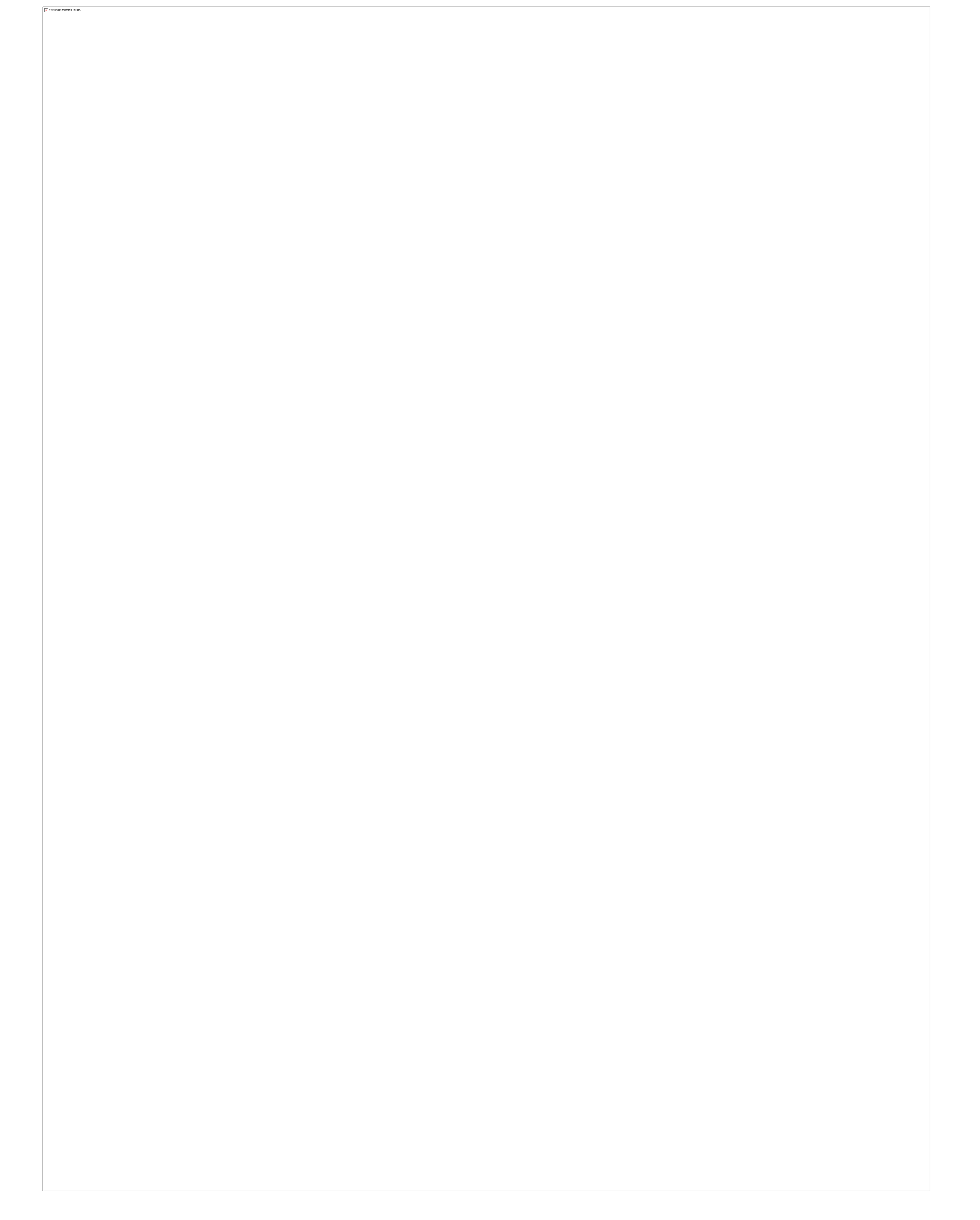

No se puede mostrar la imagen.

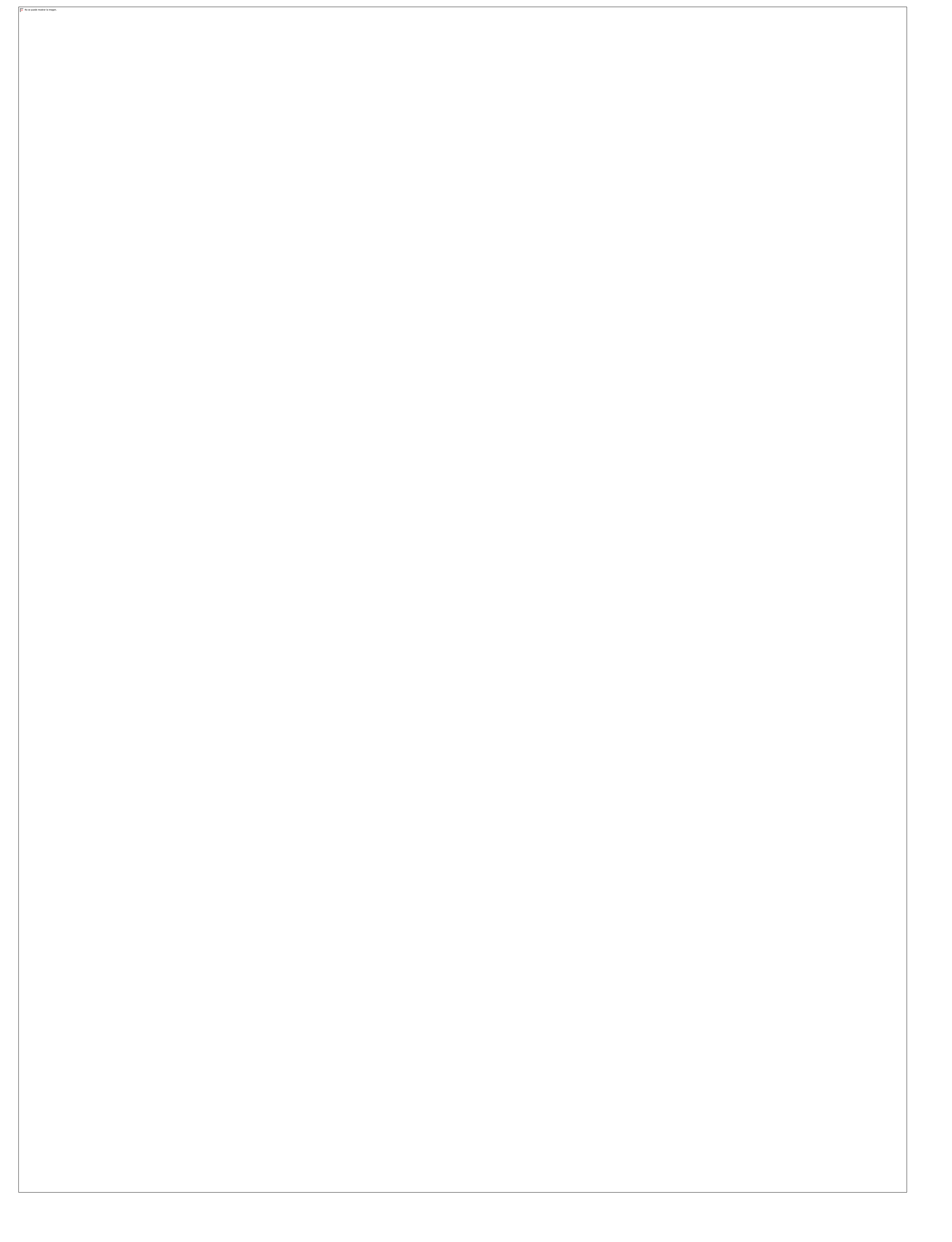

No se puede mostrar la imagen.

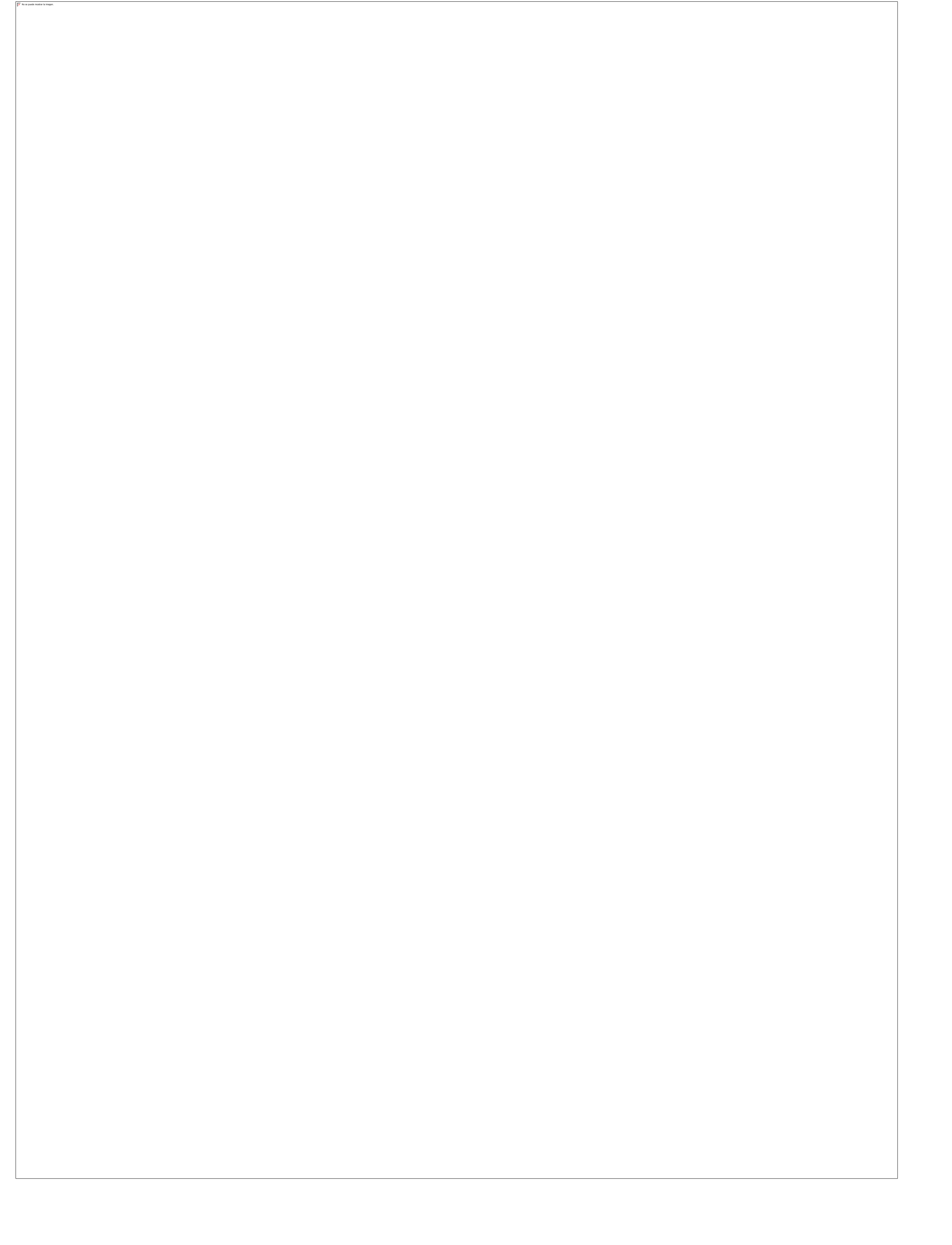

No se puede mostrar la imagen.

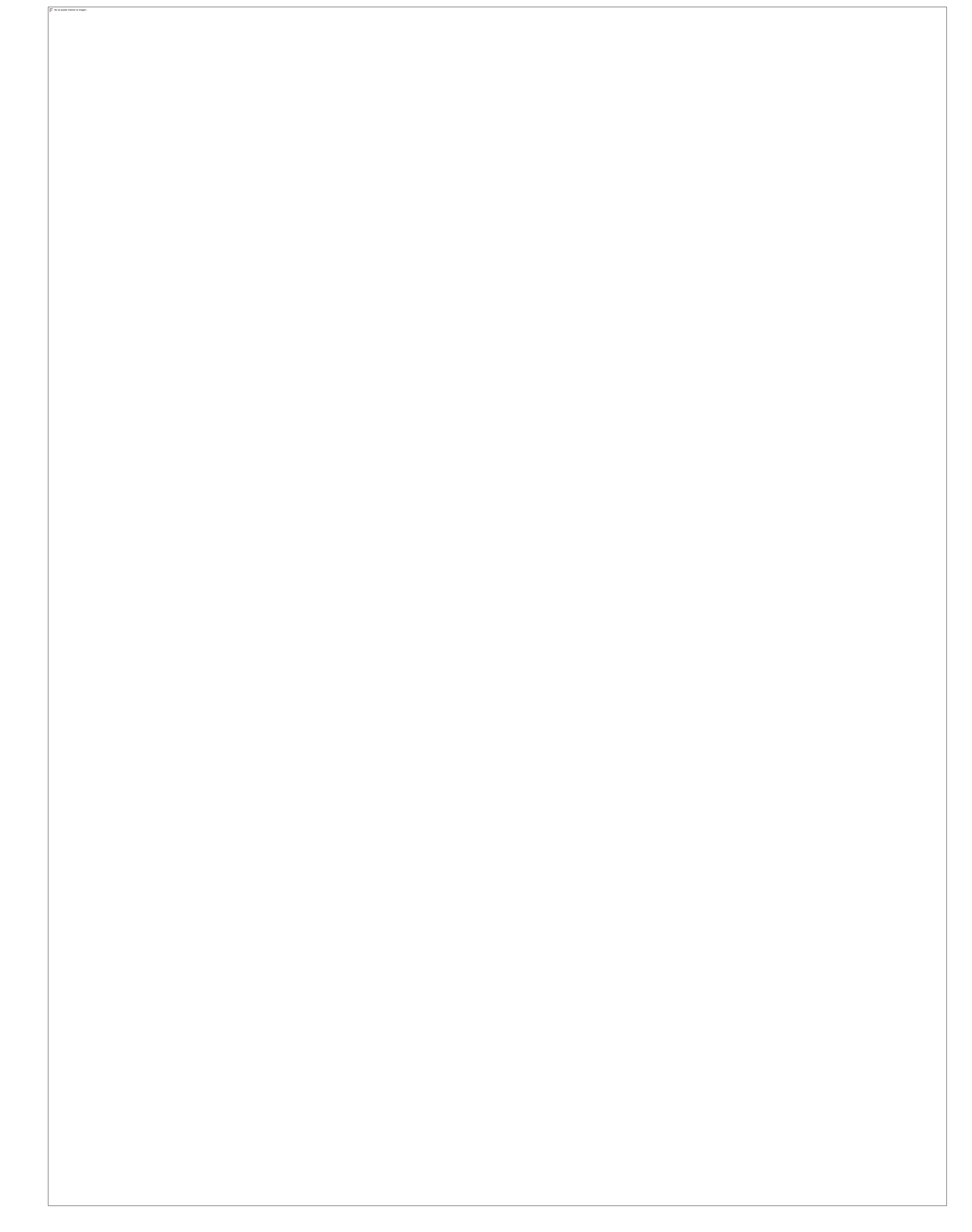

No se puede mostrar la imagen.

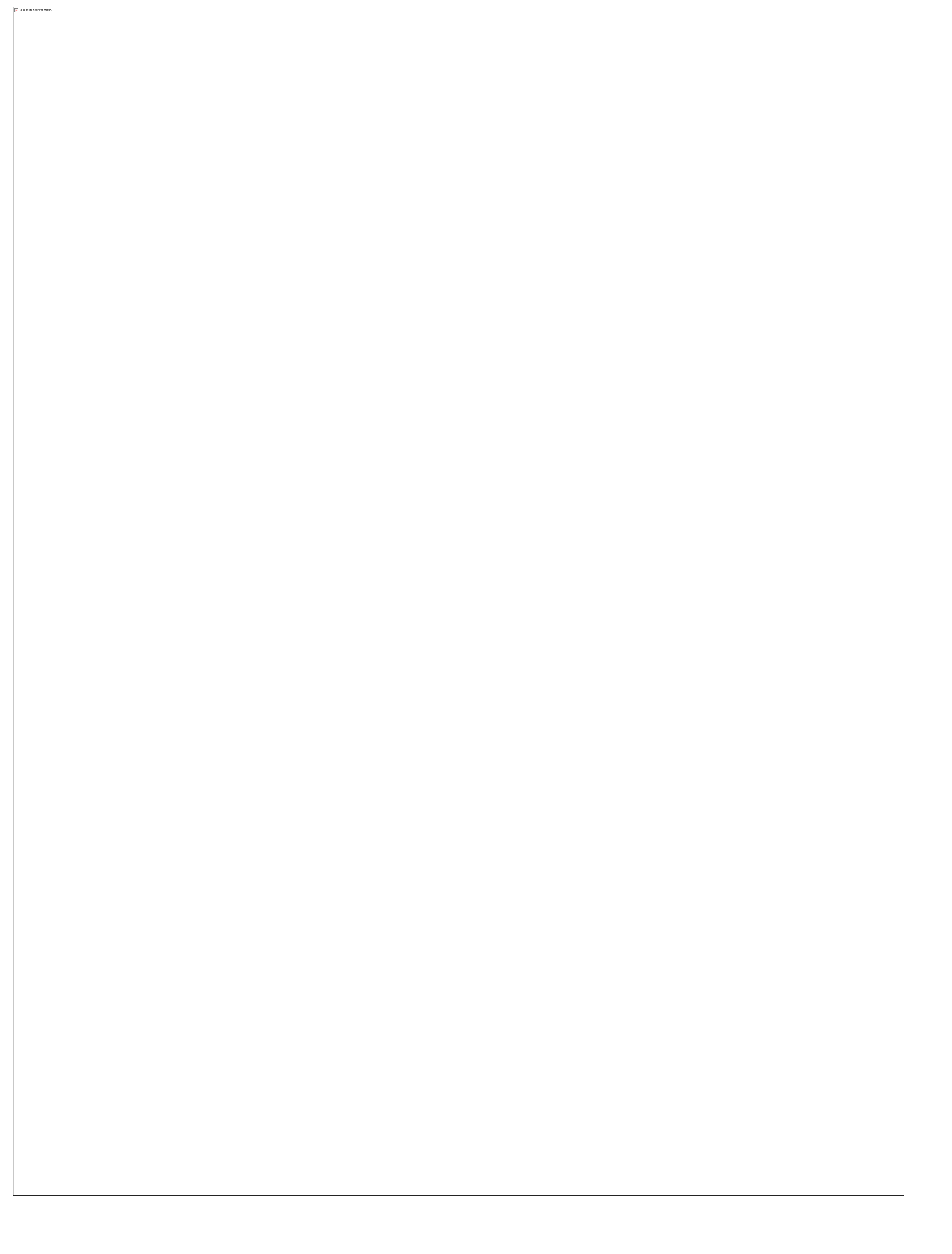

No se puede mostrar la imagen.

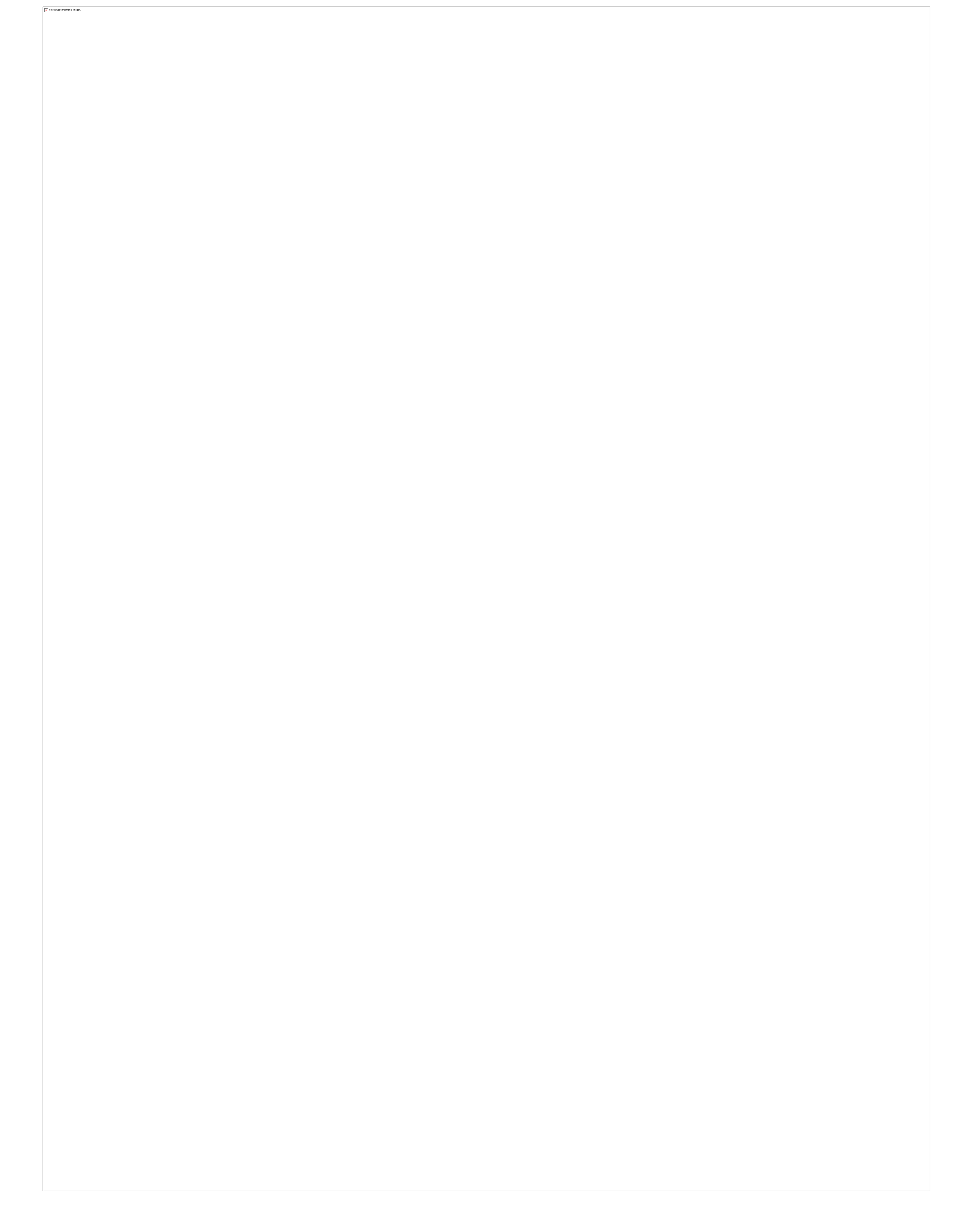

No se puede mostrar la imagen.

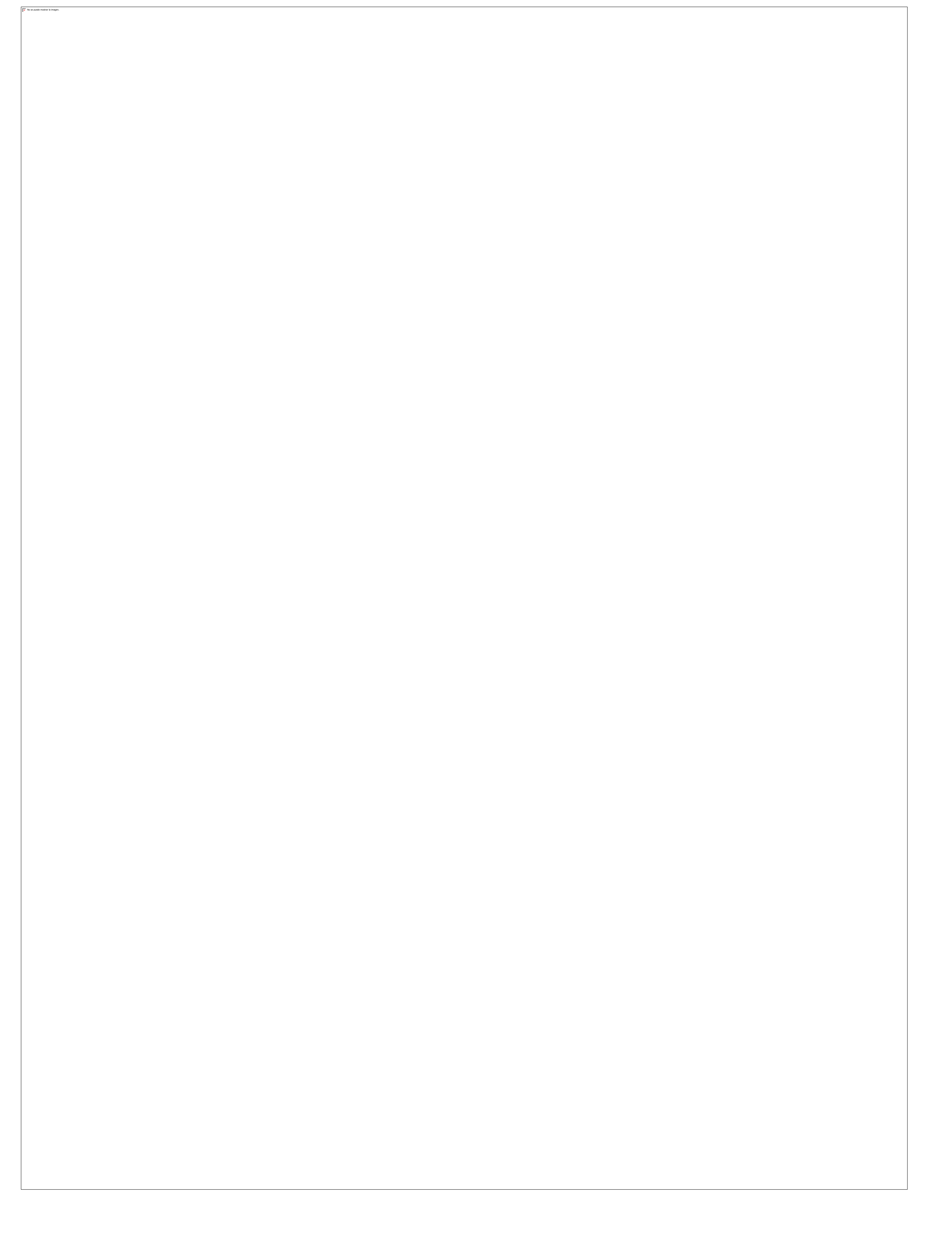

No se puede mostrar la imagen.

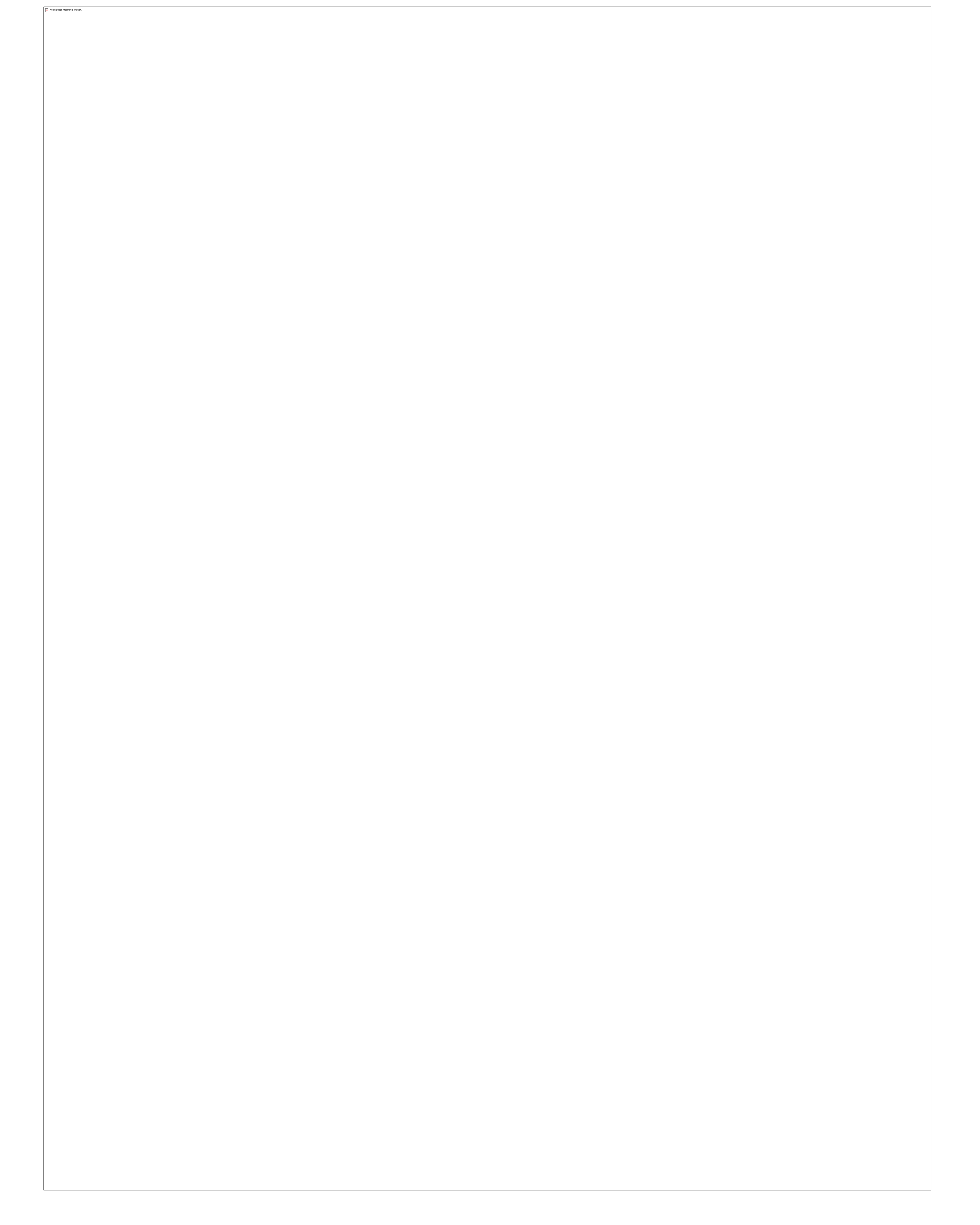

No se puede mostrar la imagen.

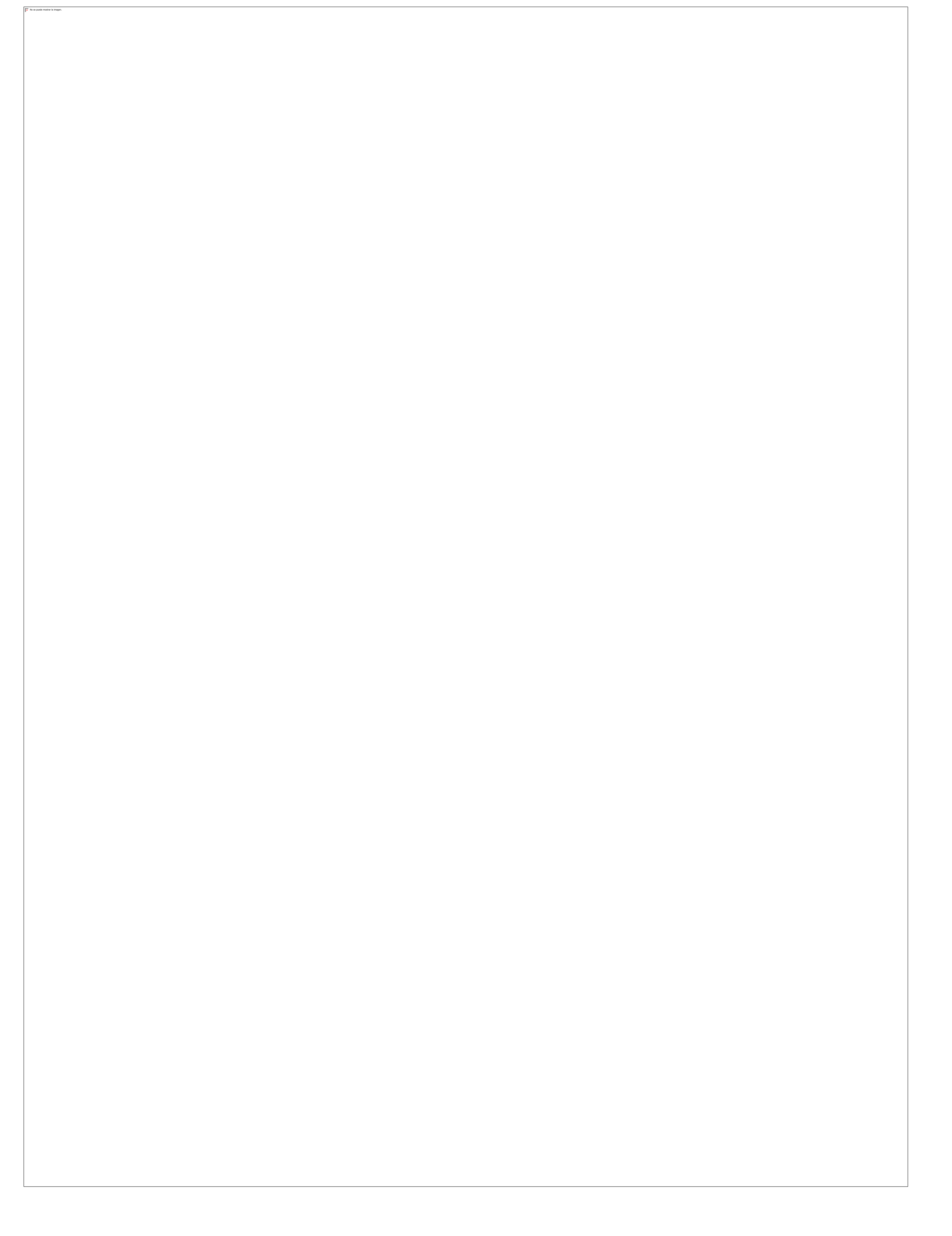

No se puede mostrar la imagen.

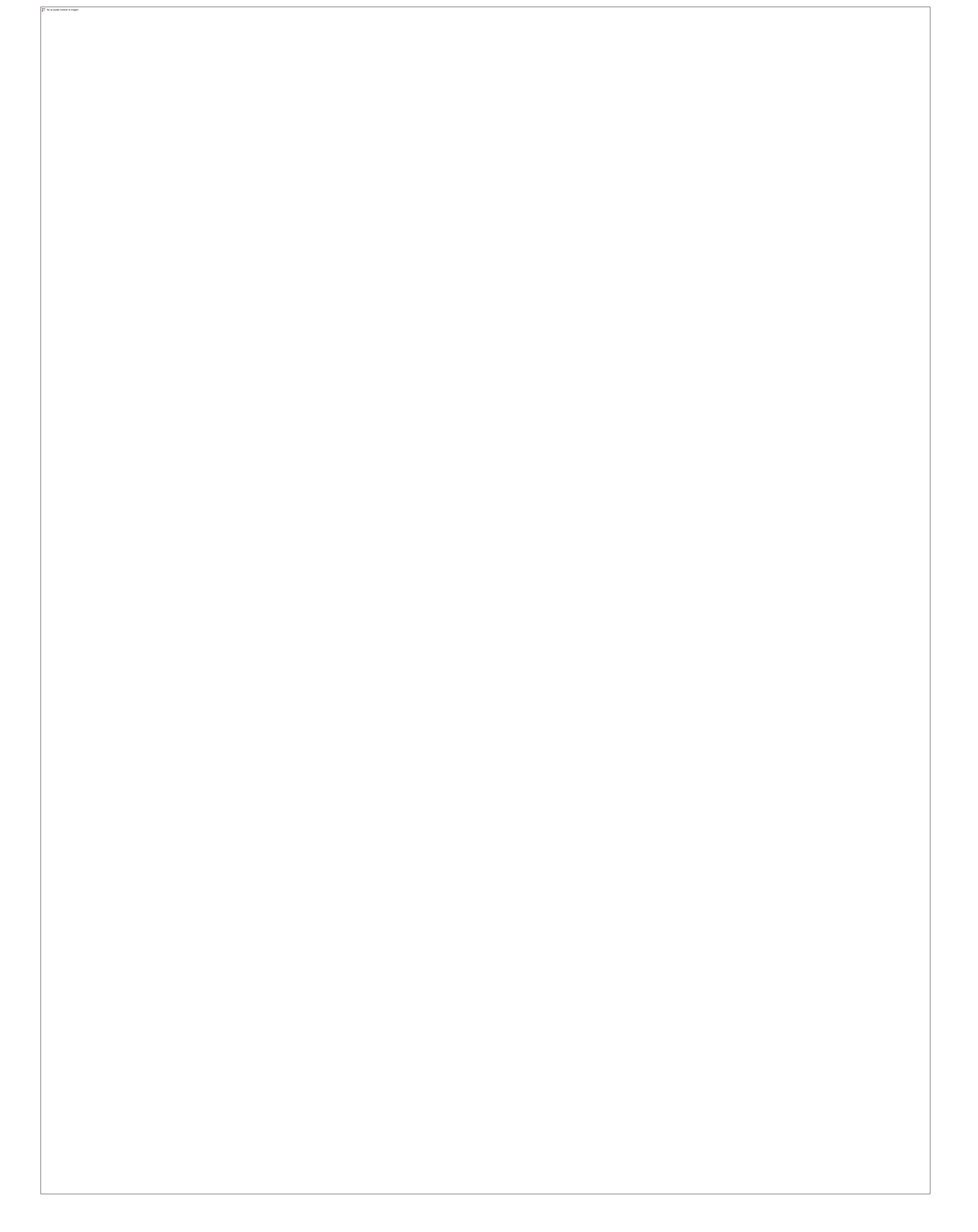

No se puede mostrar la imagen.

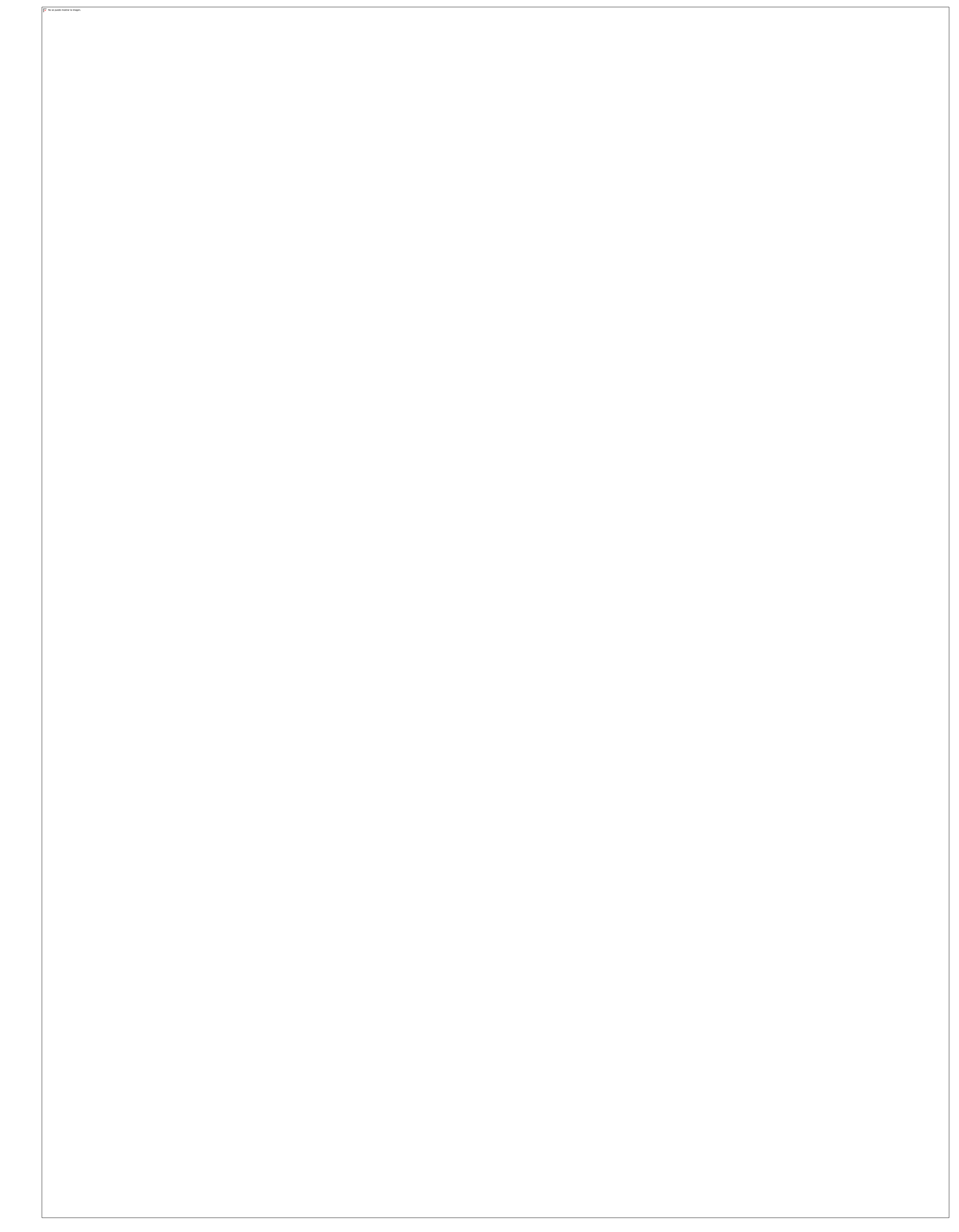

No se puede mostrar la imagen.

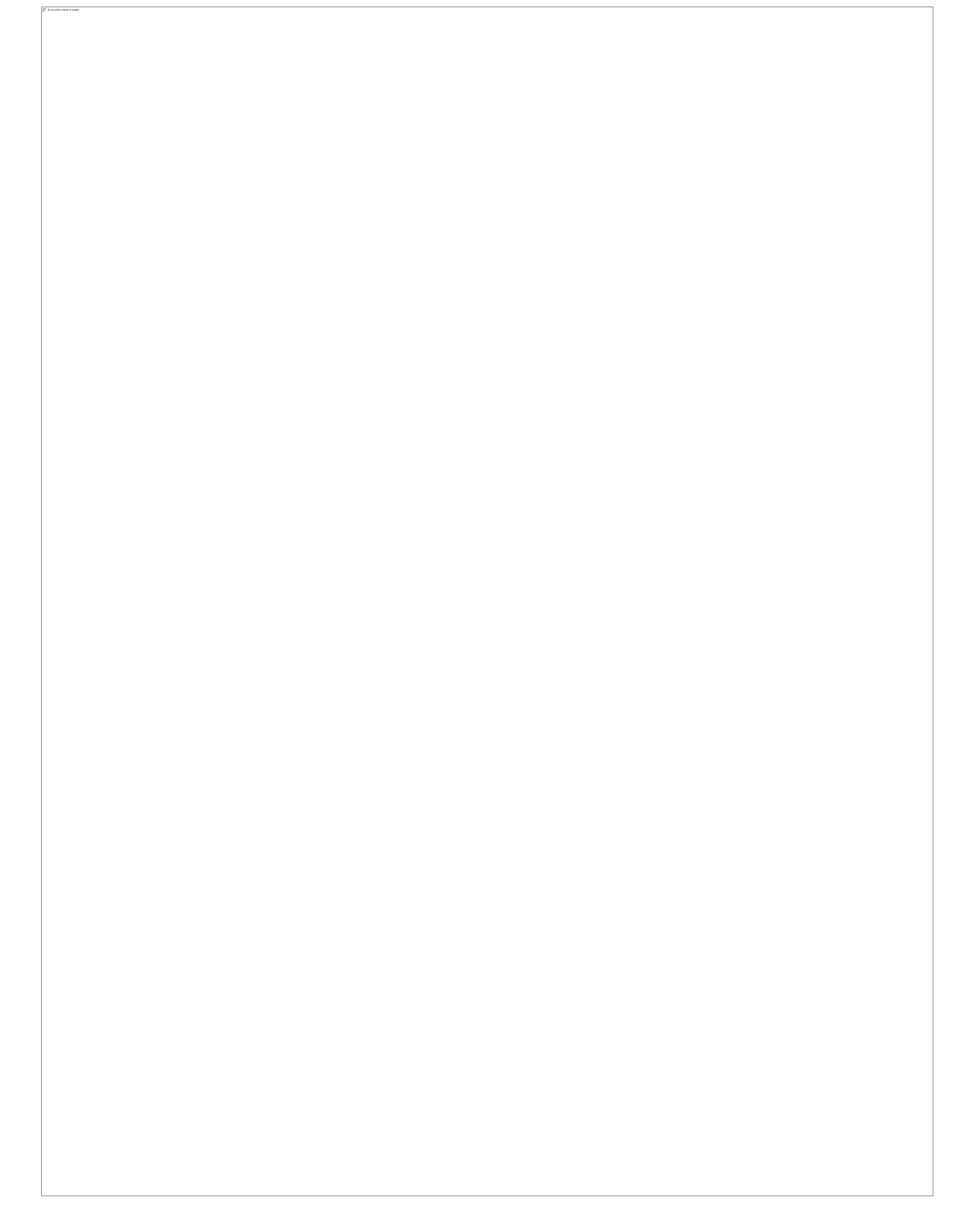

No se puede mostrar la imagen.

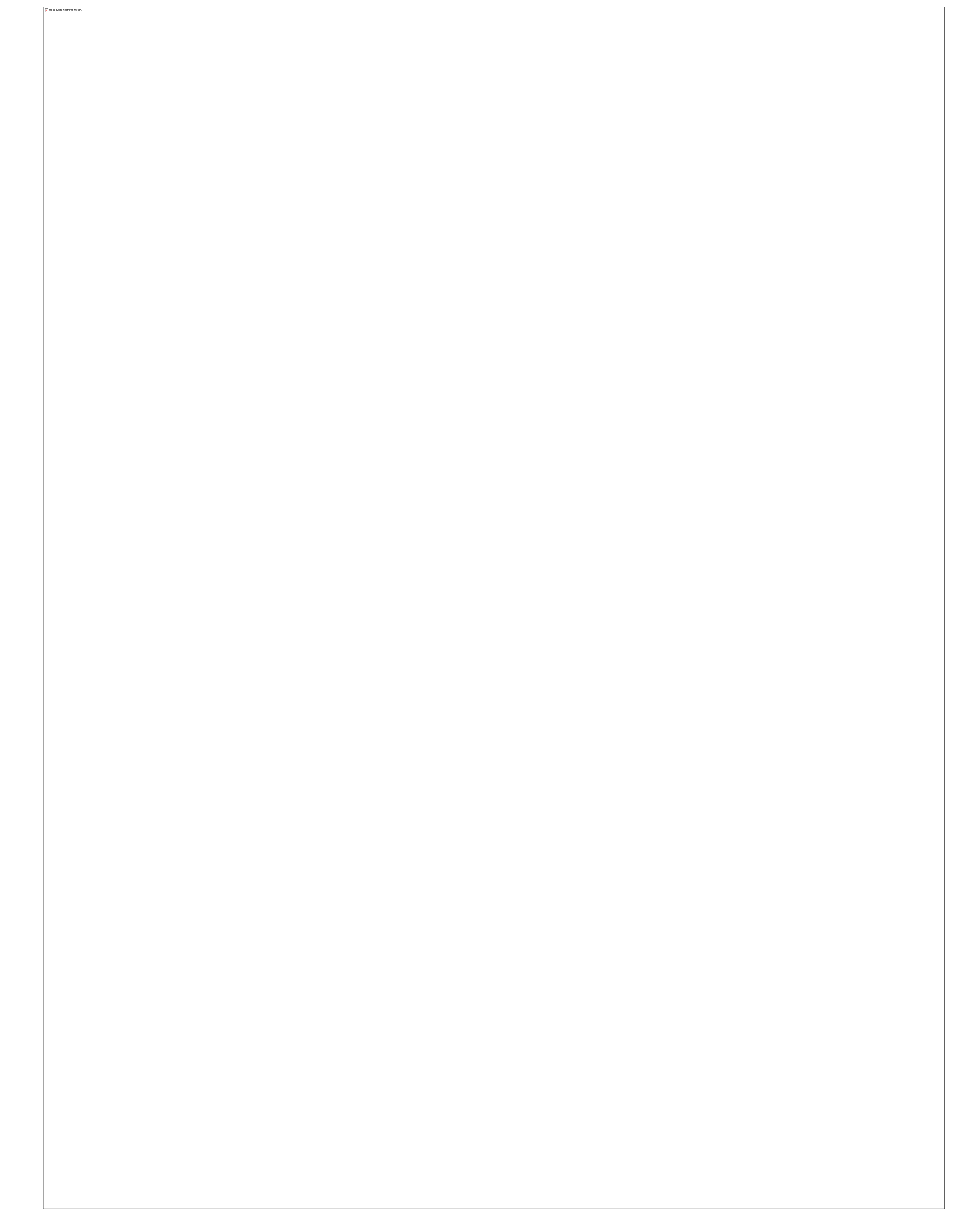

No se puede mostrar la imagen.

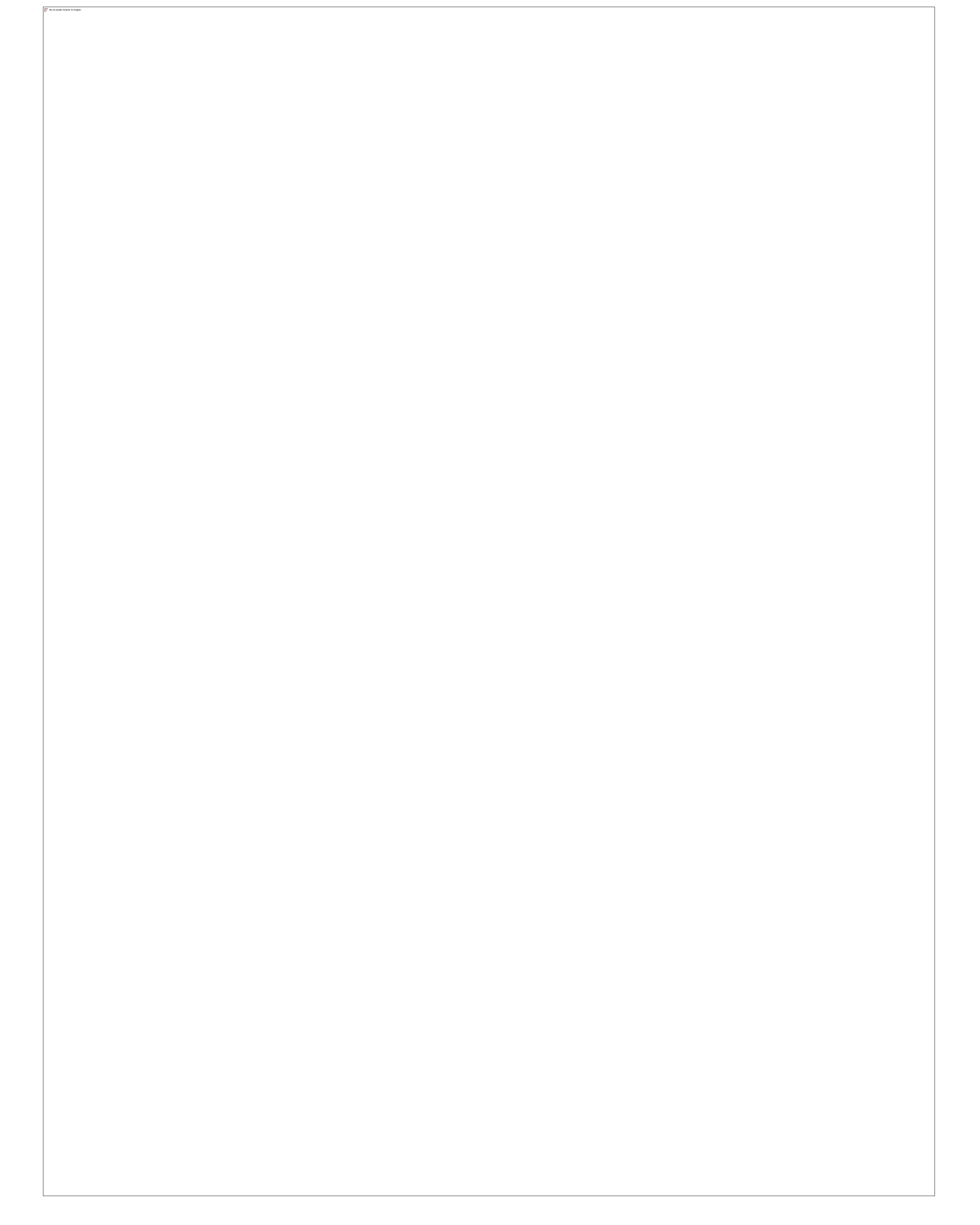

No se puede mostrar la imagen.

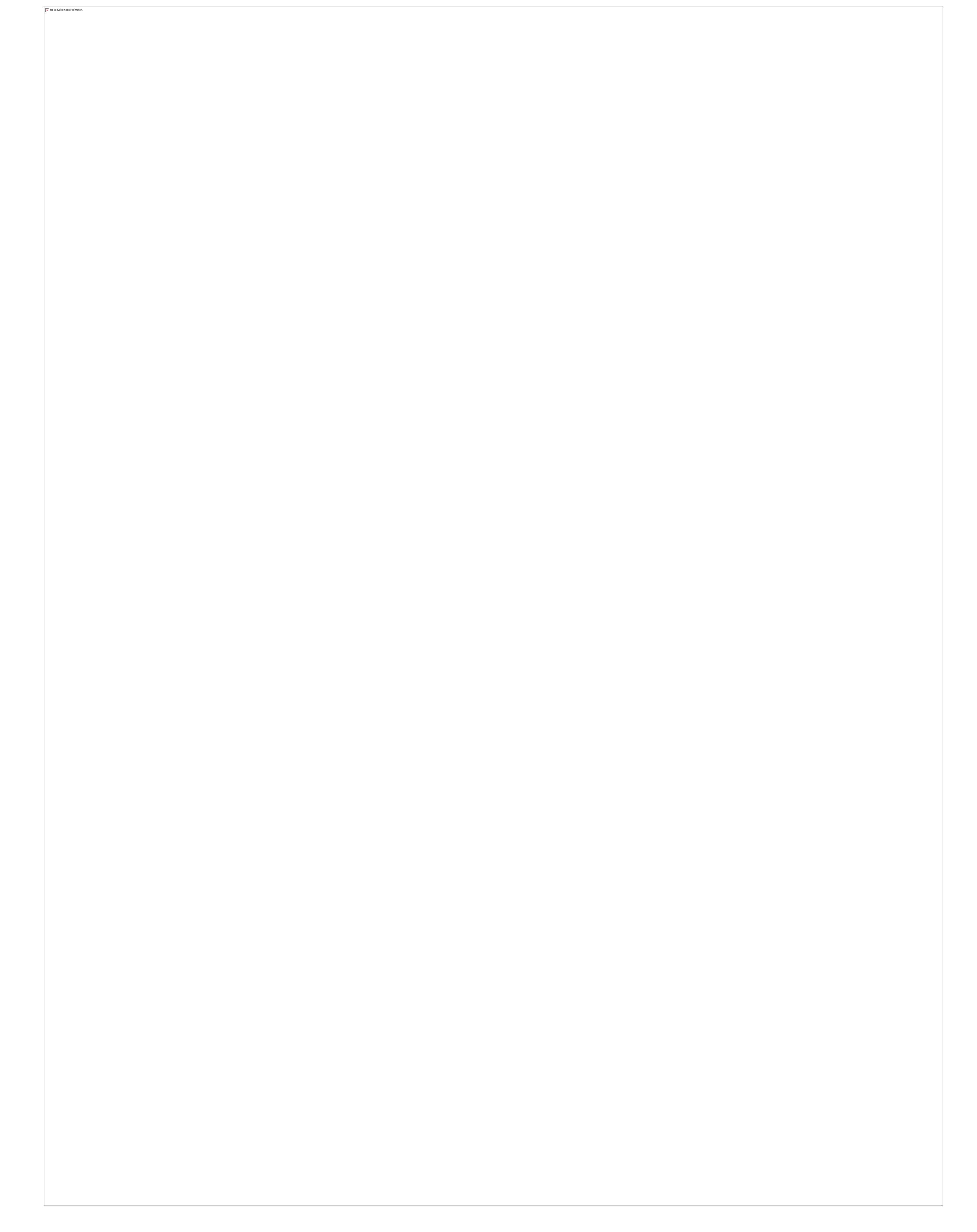

No se puede mostrar la imagen.

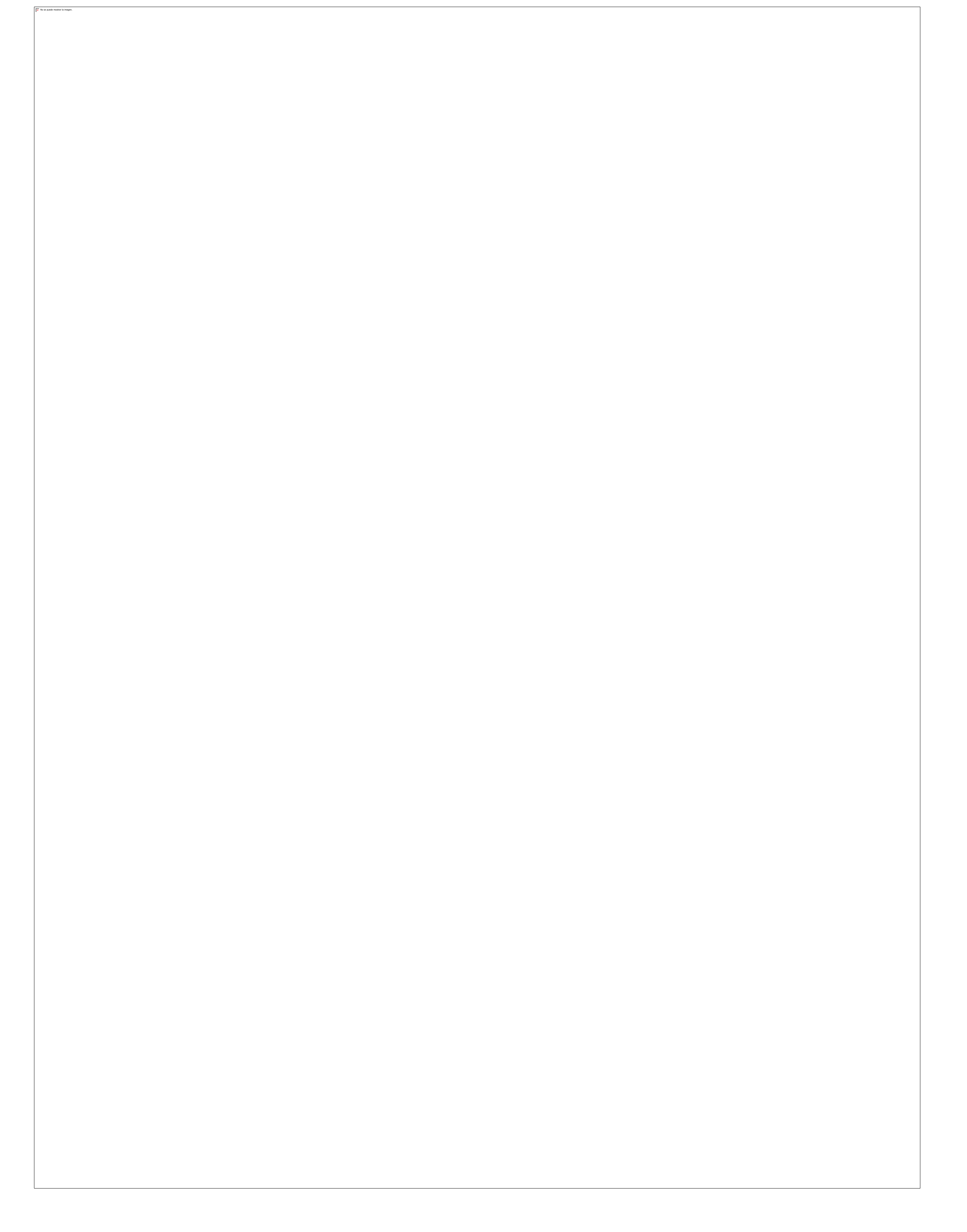

No se puede mostrar la imagen.

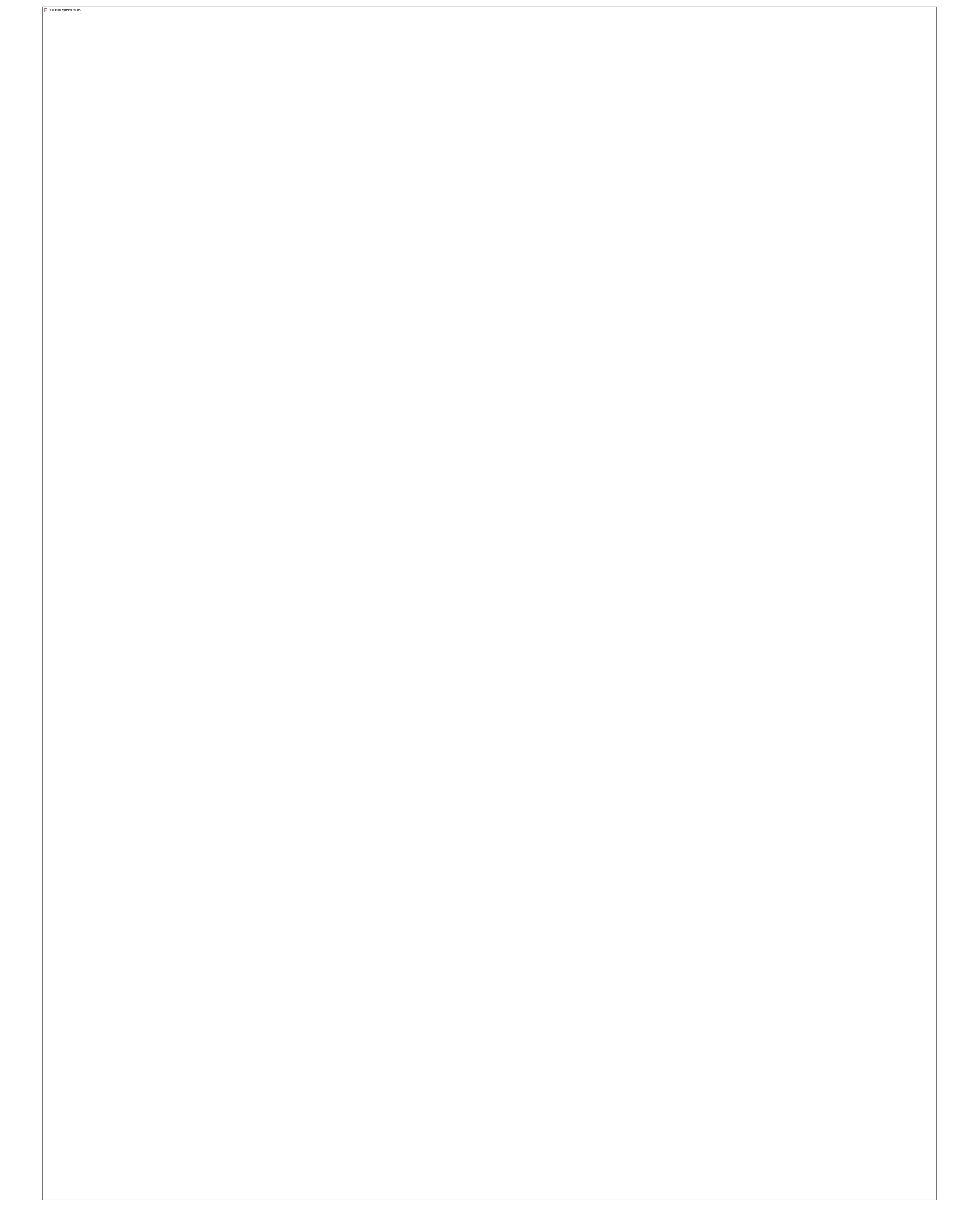

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

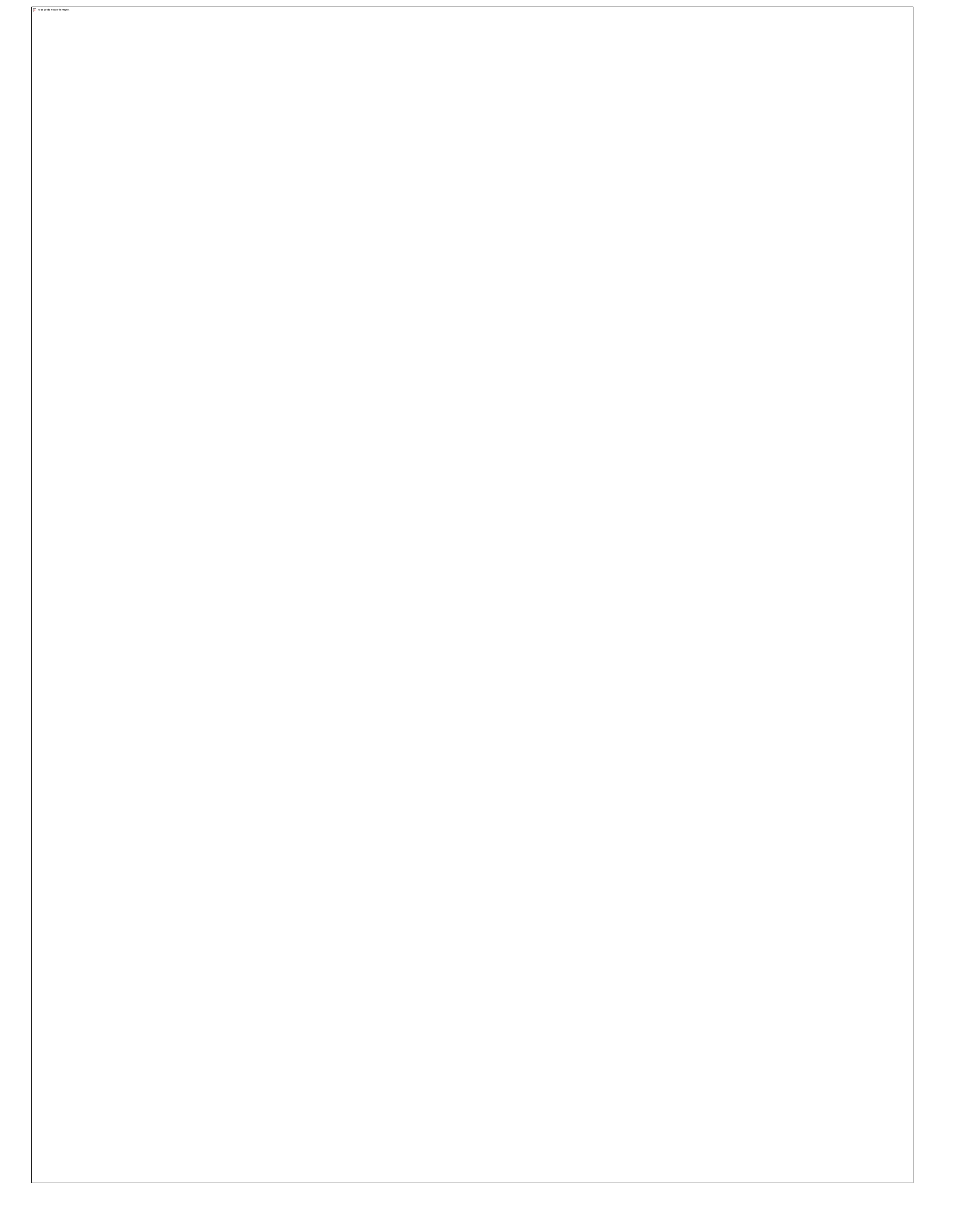

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

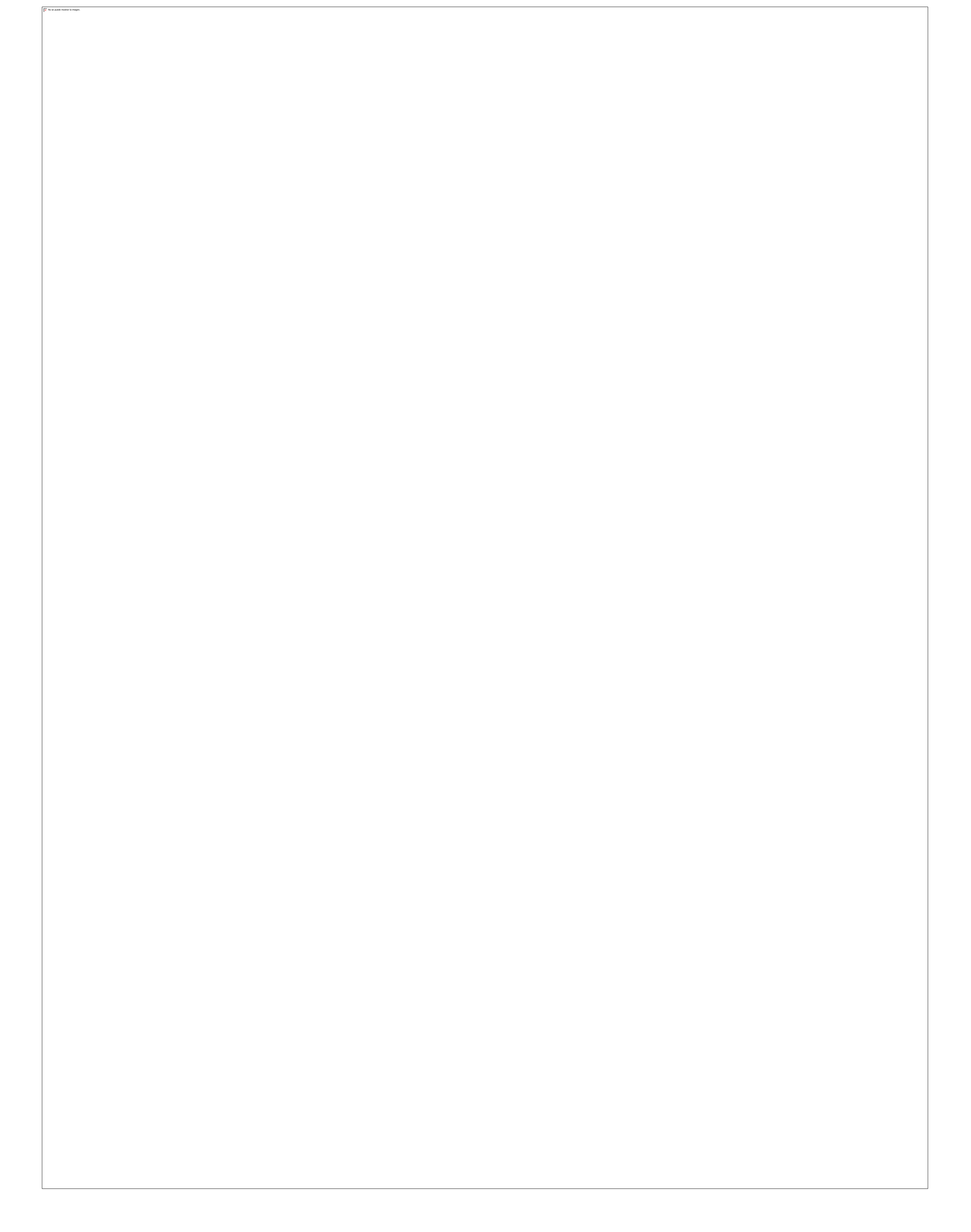

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

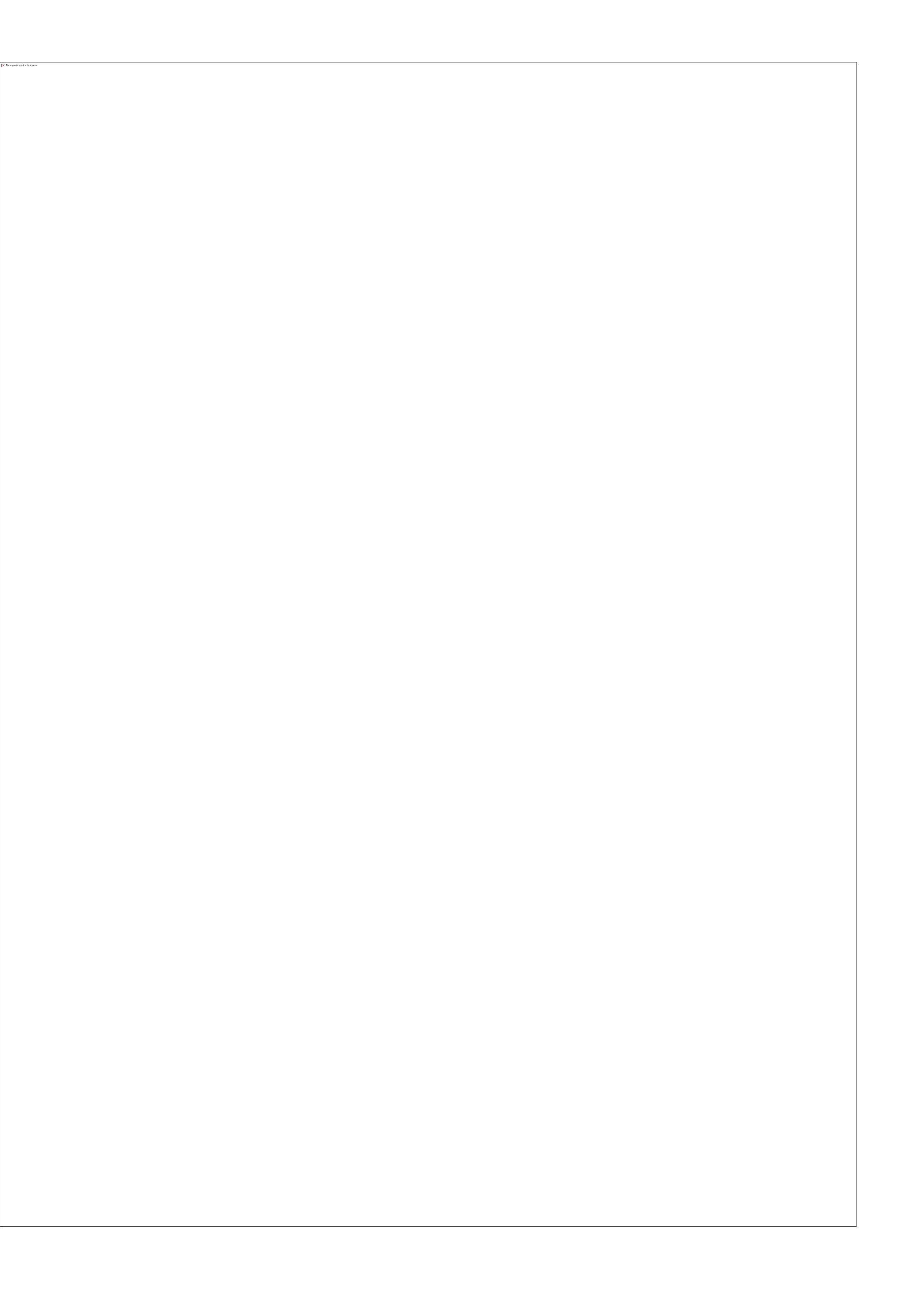
No se puede mostrar la imagen.

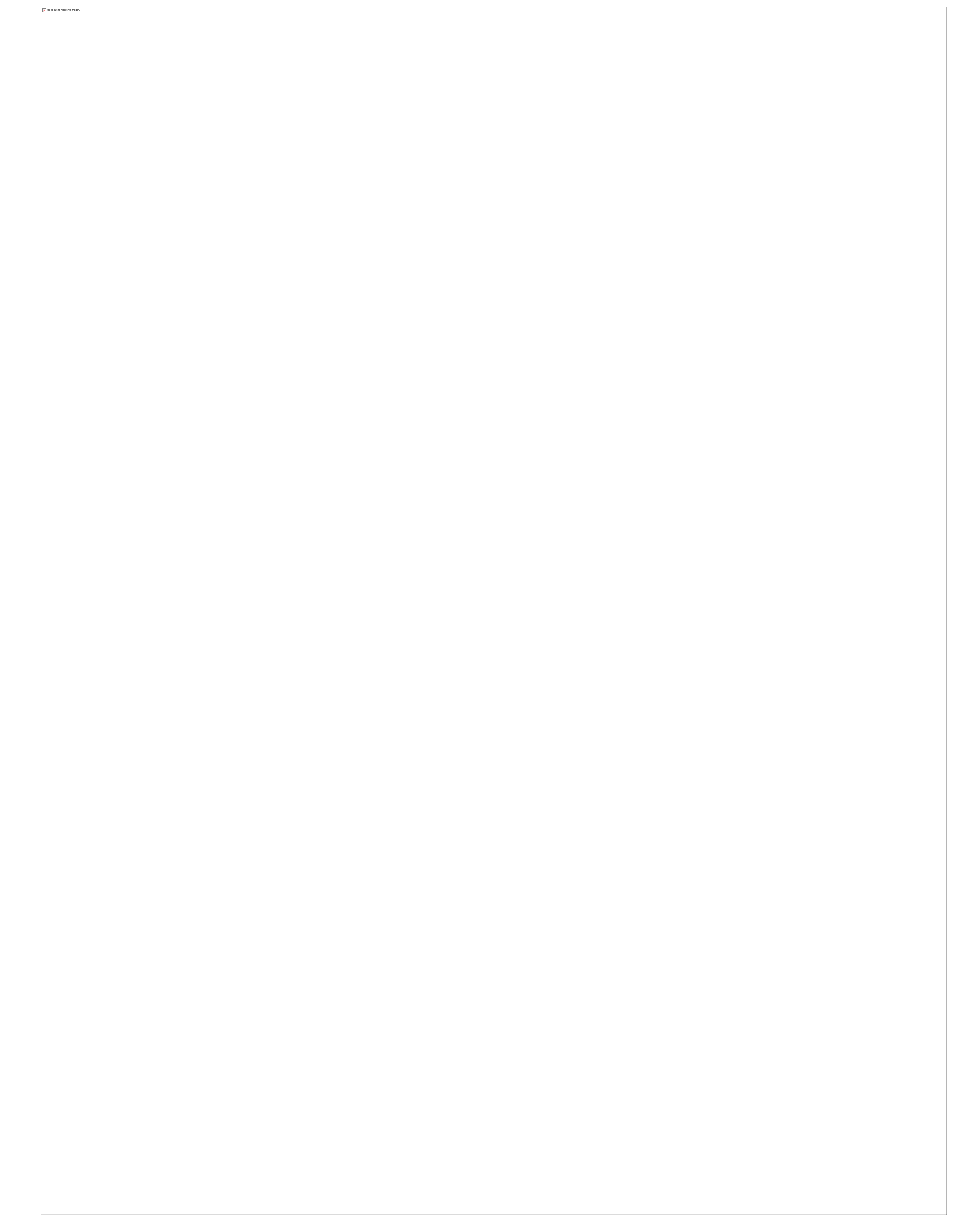

No se puede mostrar la imagen.

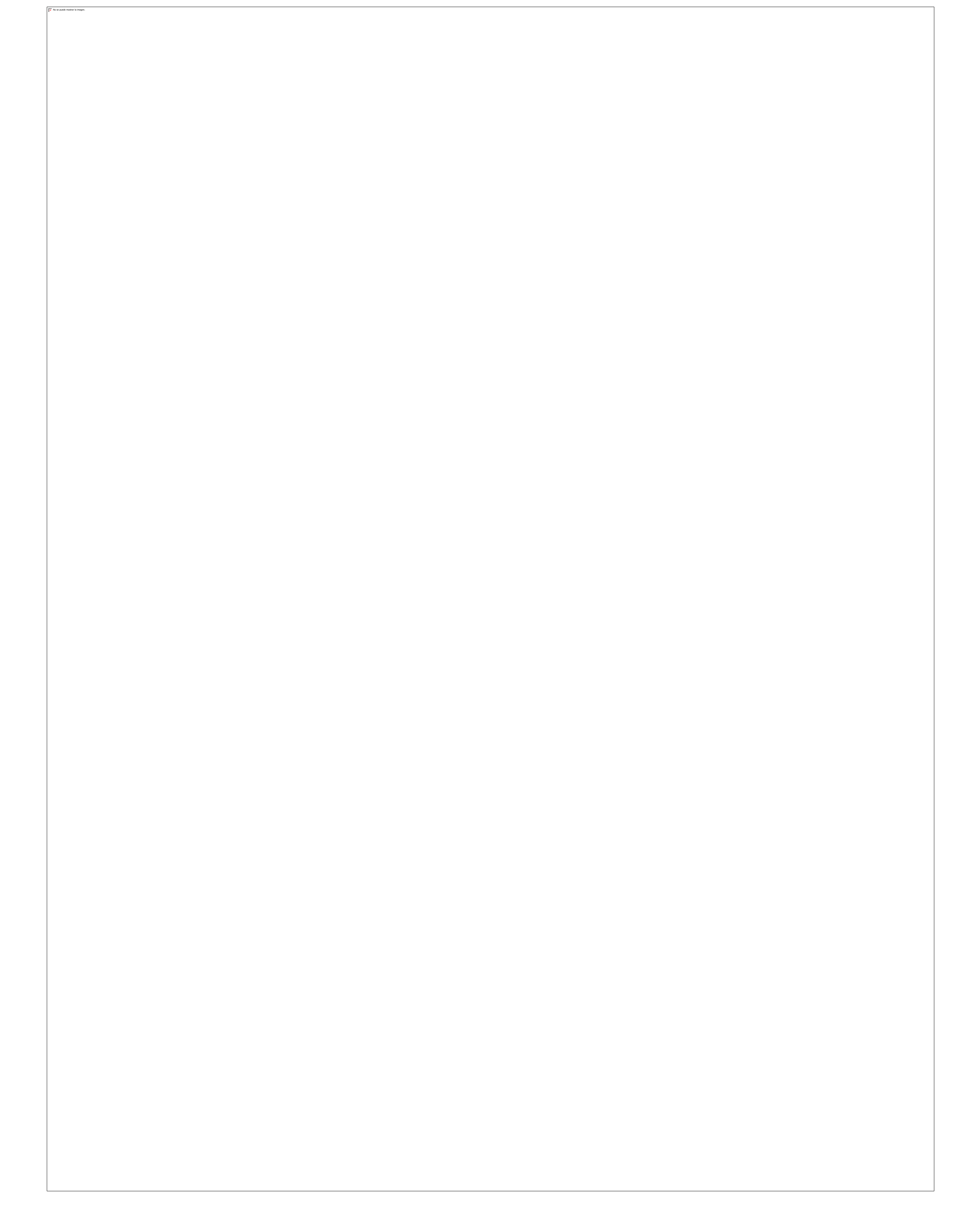
No se puede mostrar la imagen.

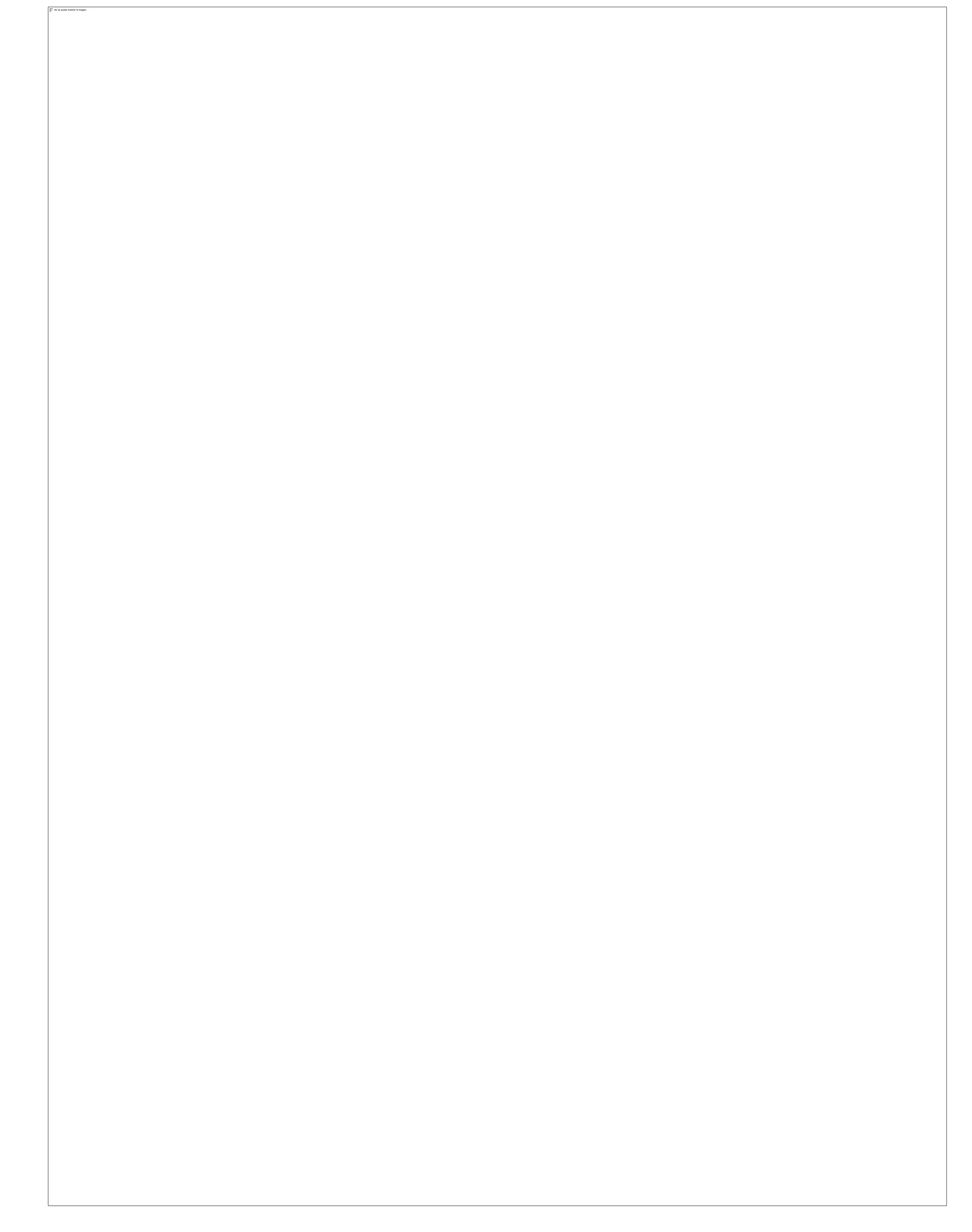

No se puede mostrar la imagen.

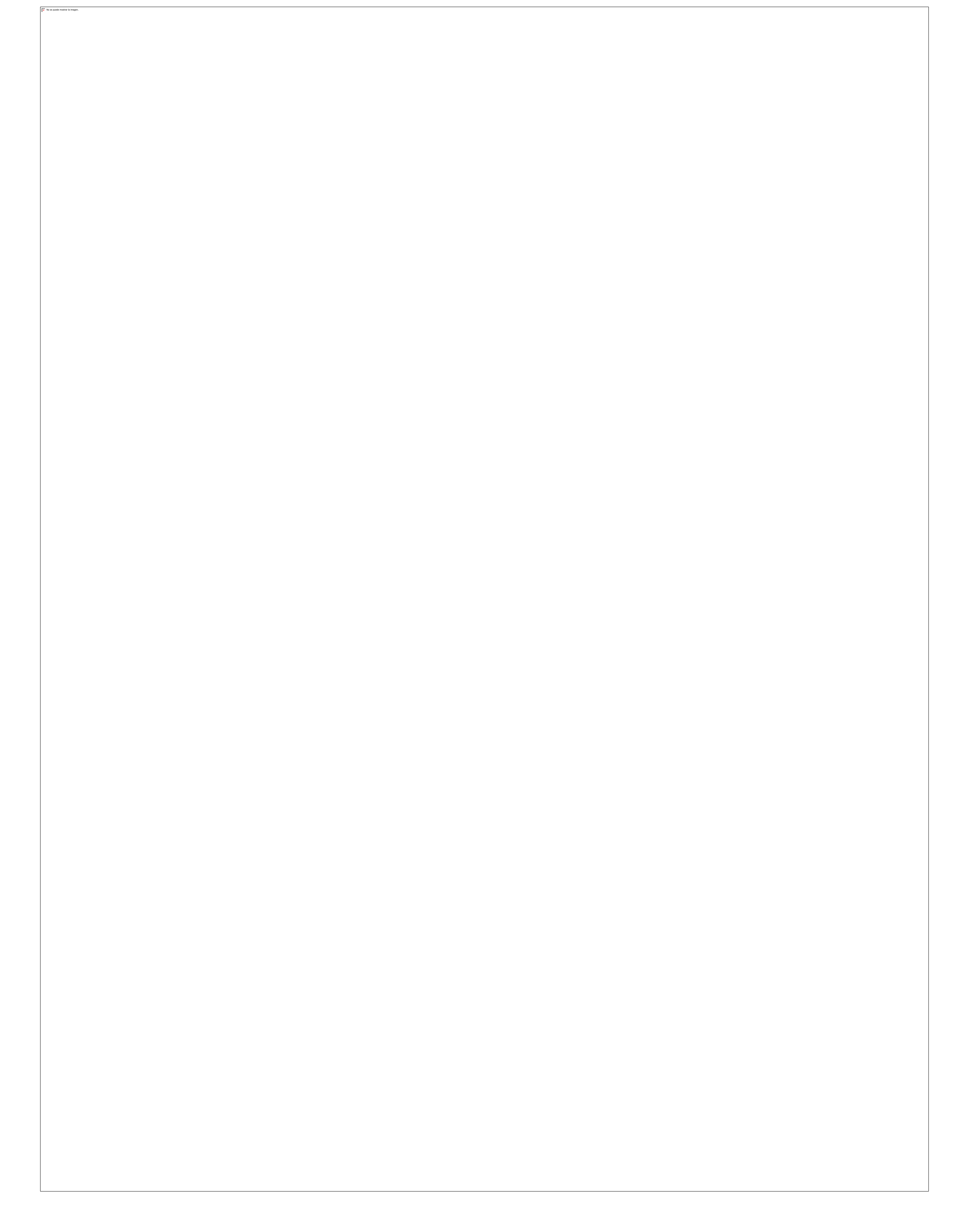
No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

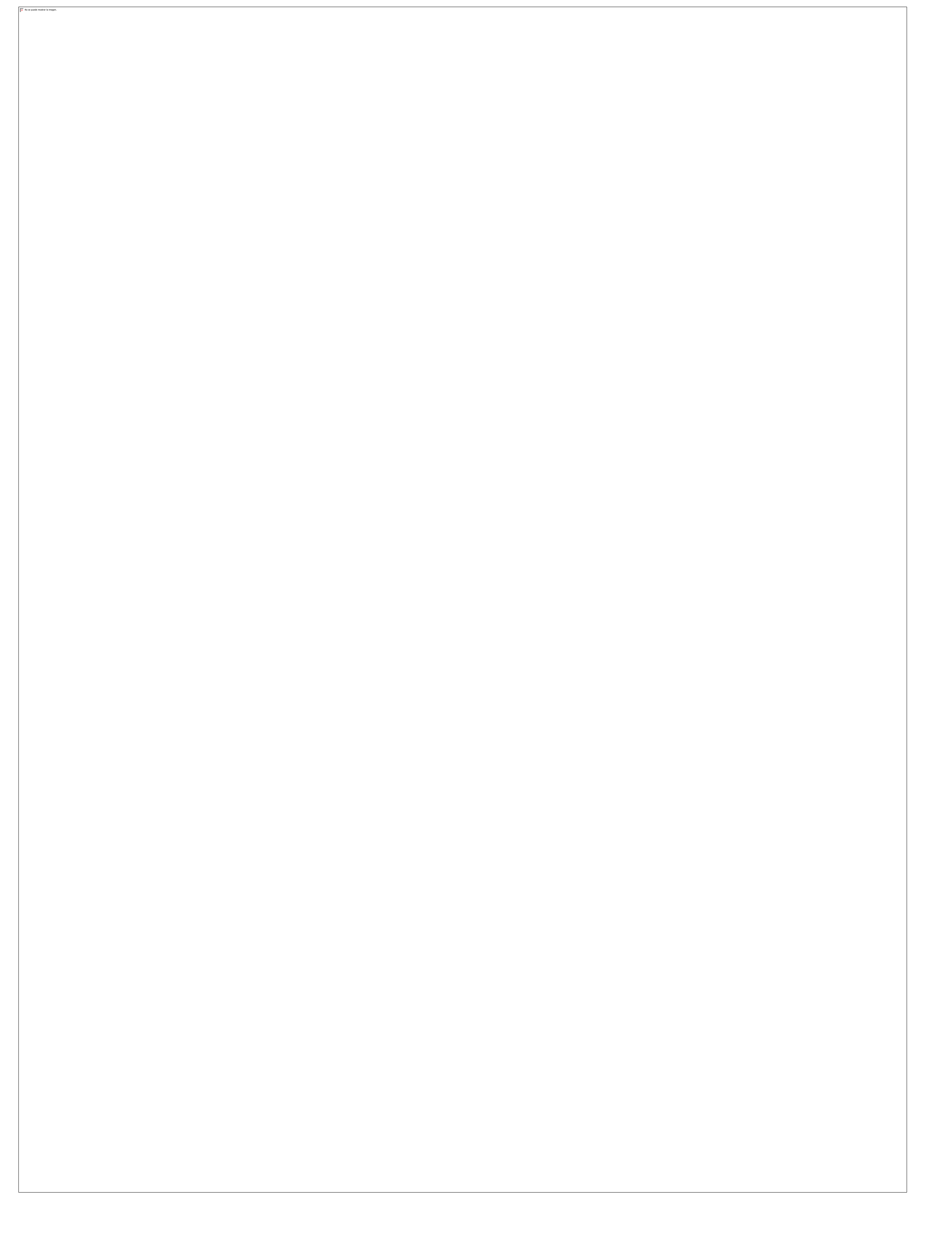

No se puede mostrar la imagen.

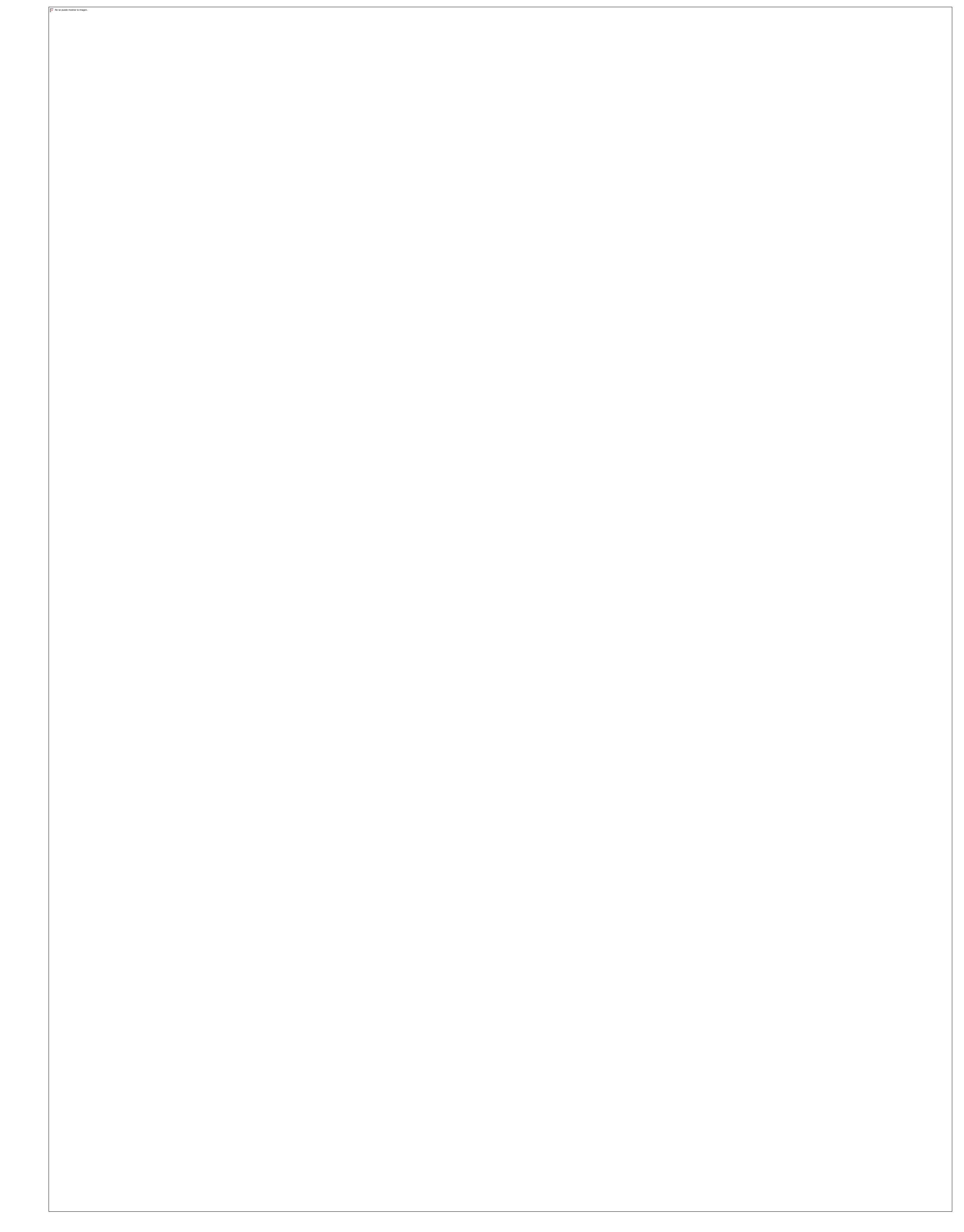

No se puede mostrar la imagen.

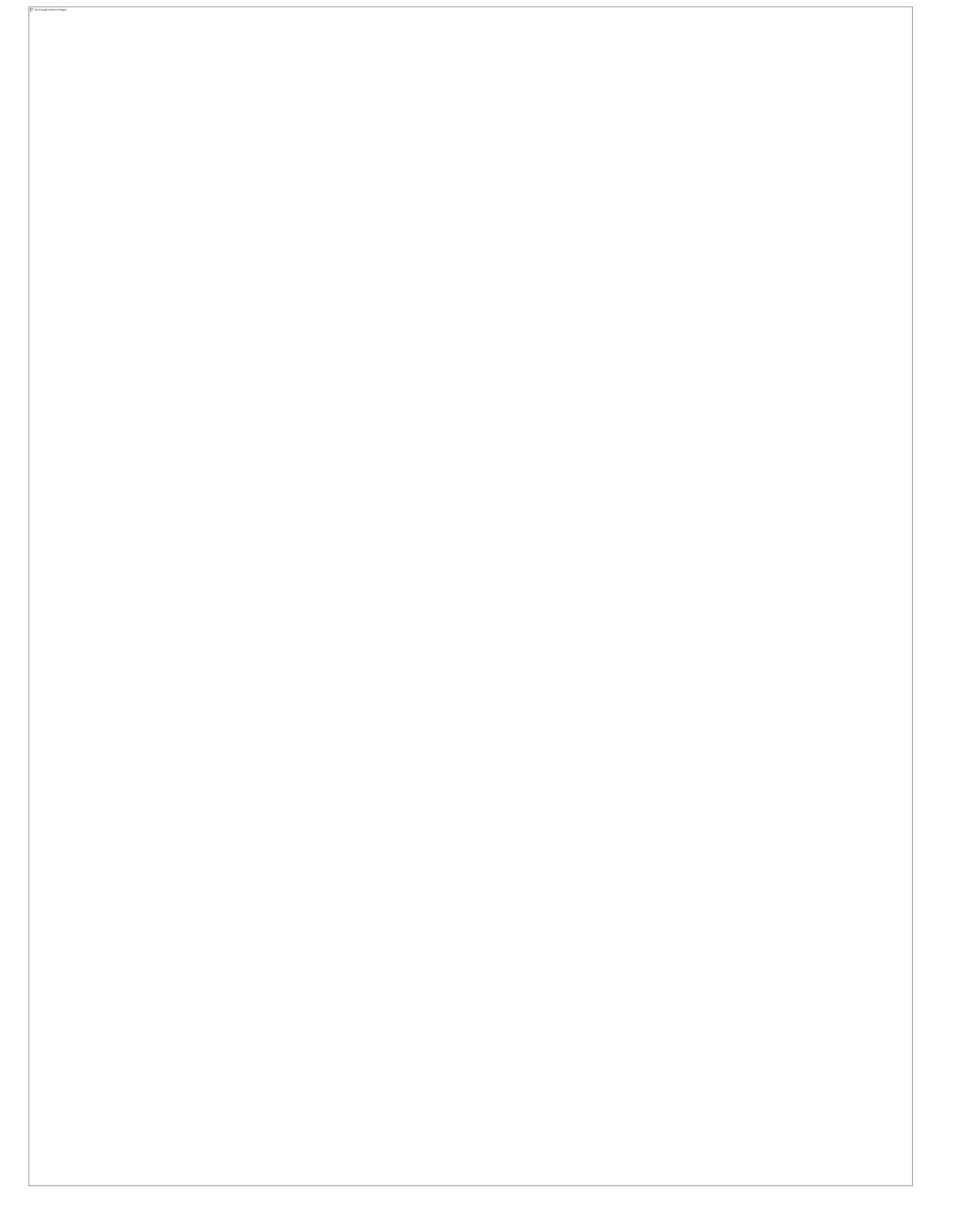

No se puede mostrar la imagen.

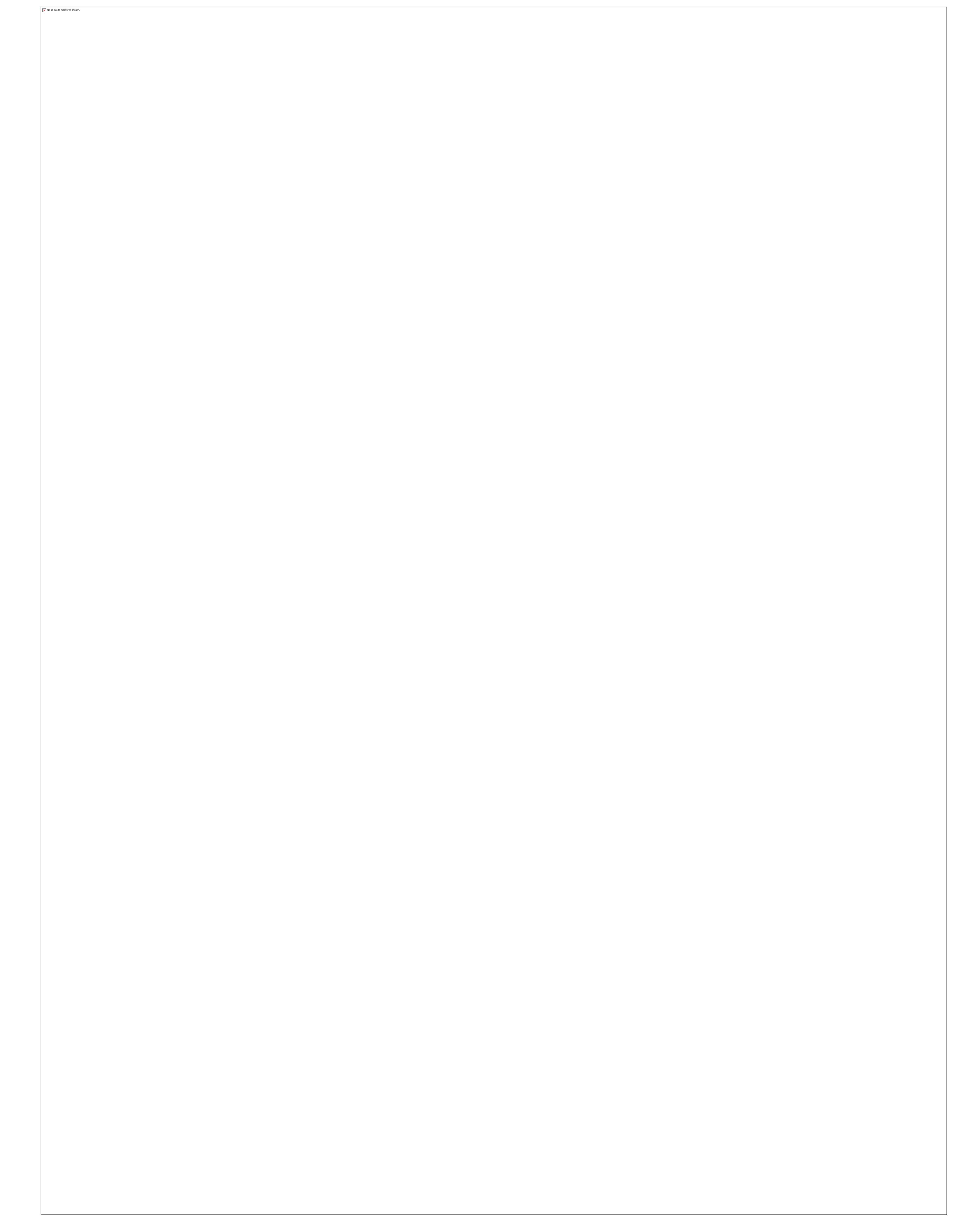

No se puede mostrar la imagen.

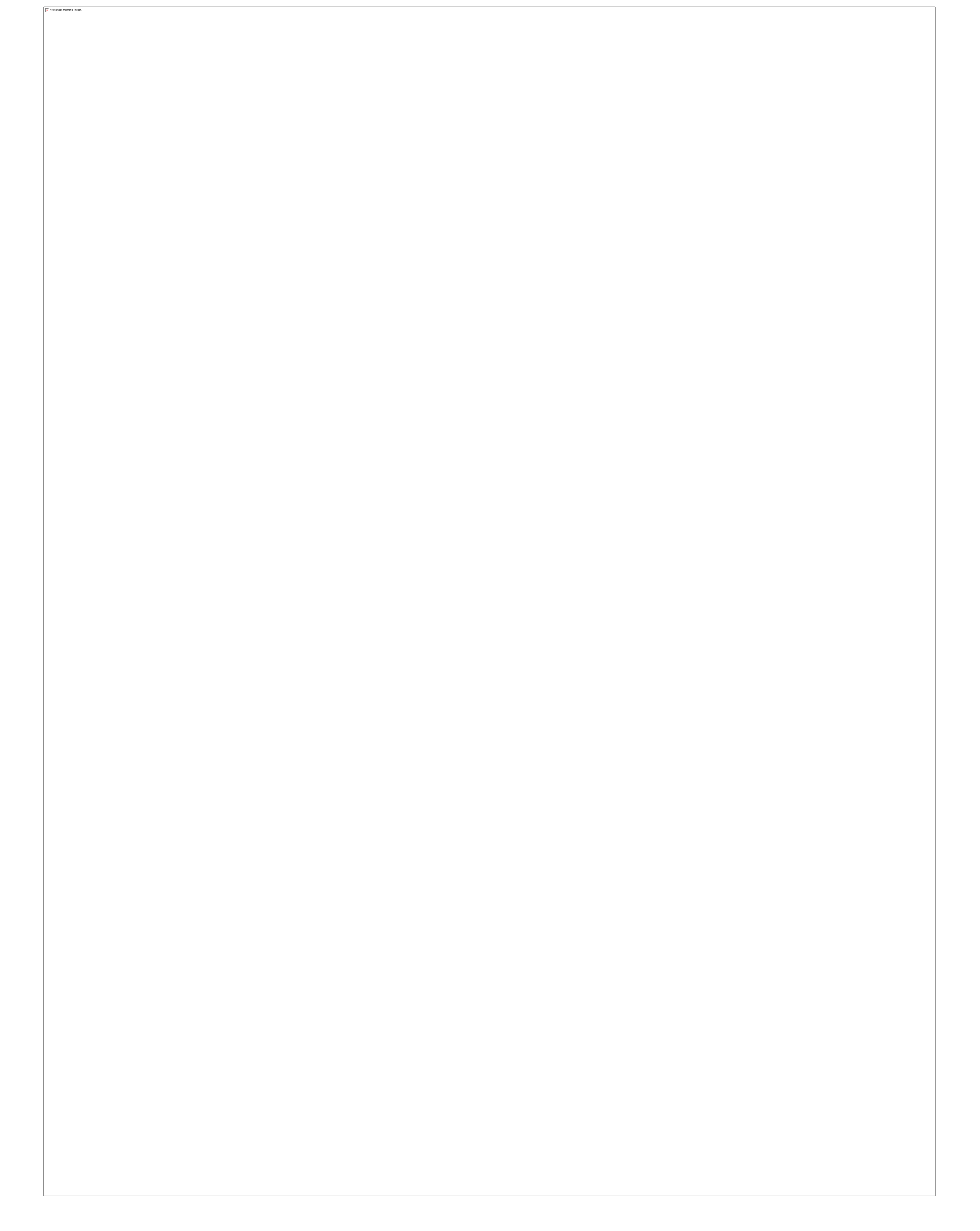
No se puede mostrar la imagen.

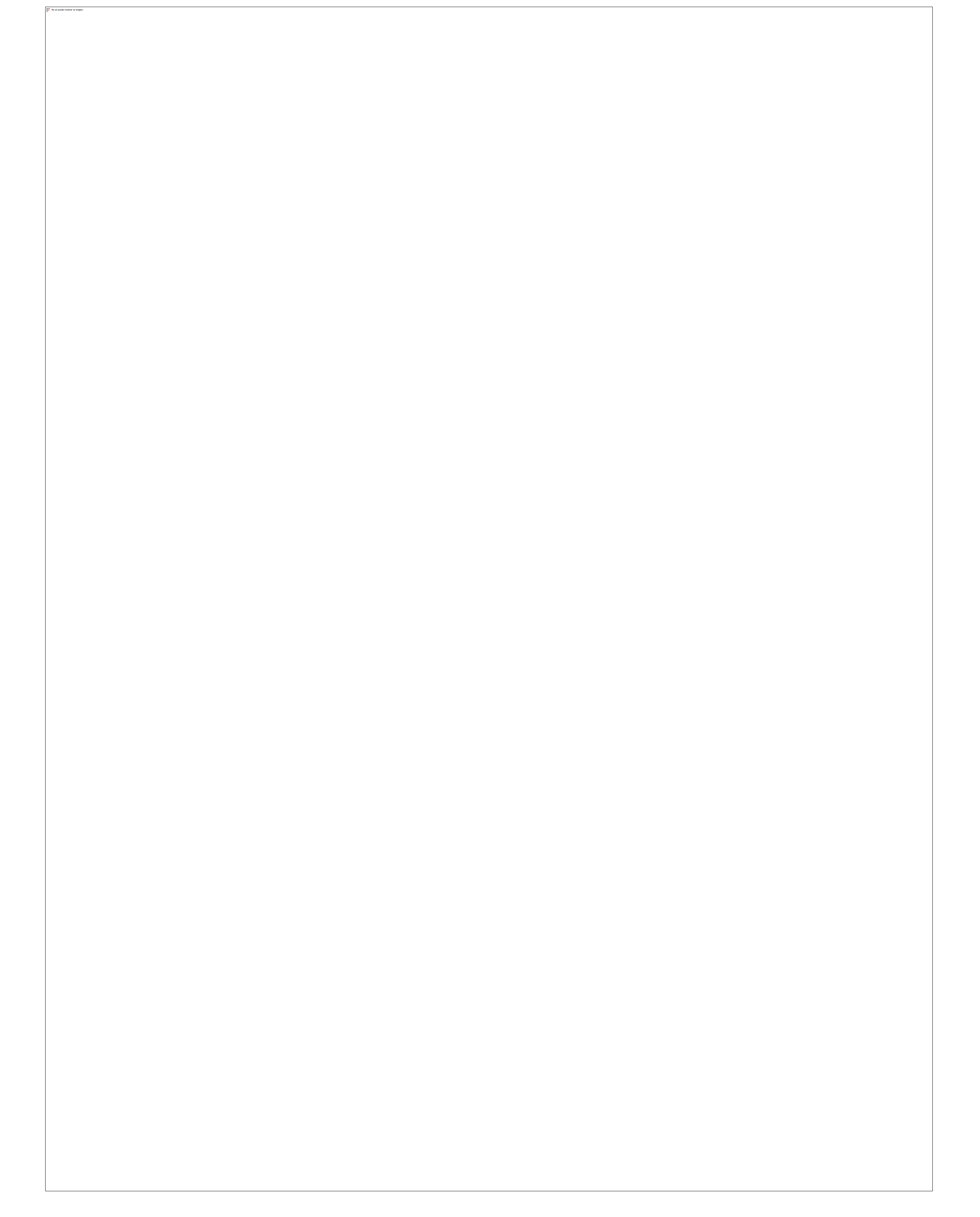

No se puede mostrar la imagen.

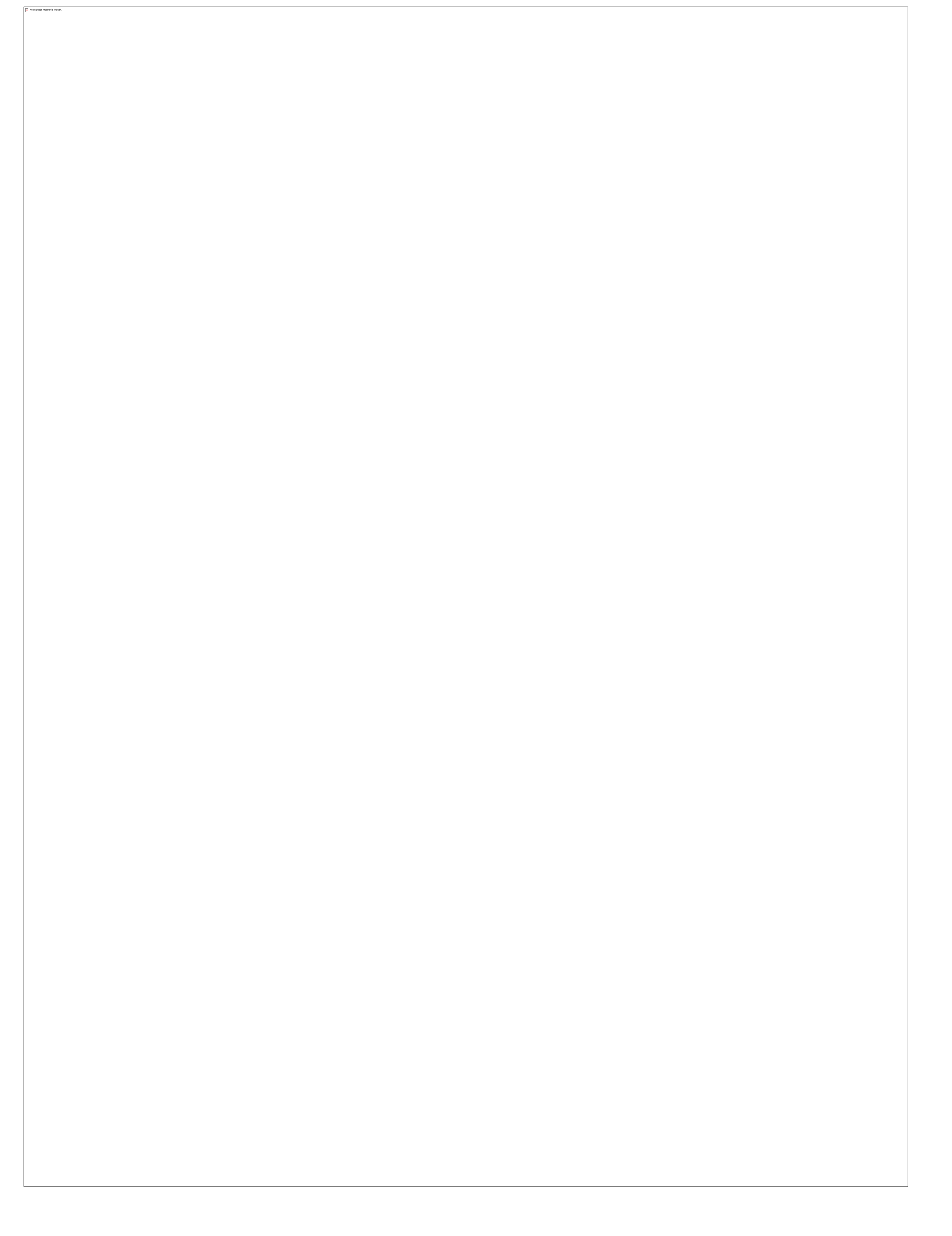

No se puede mostrar la imagen.

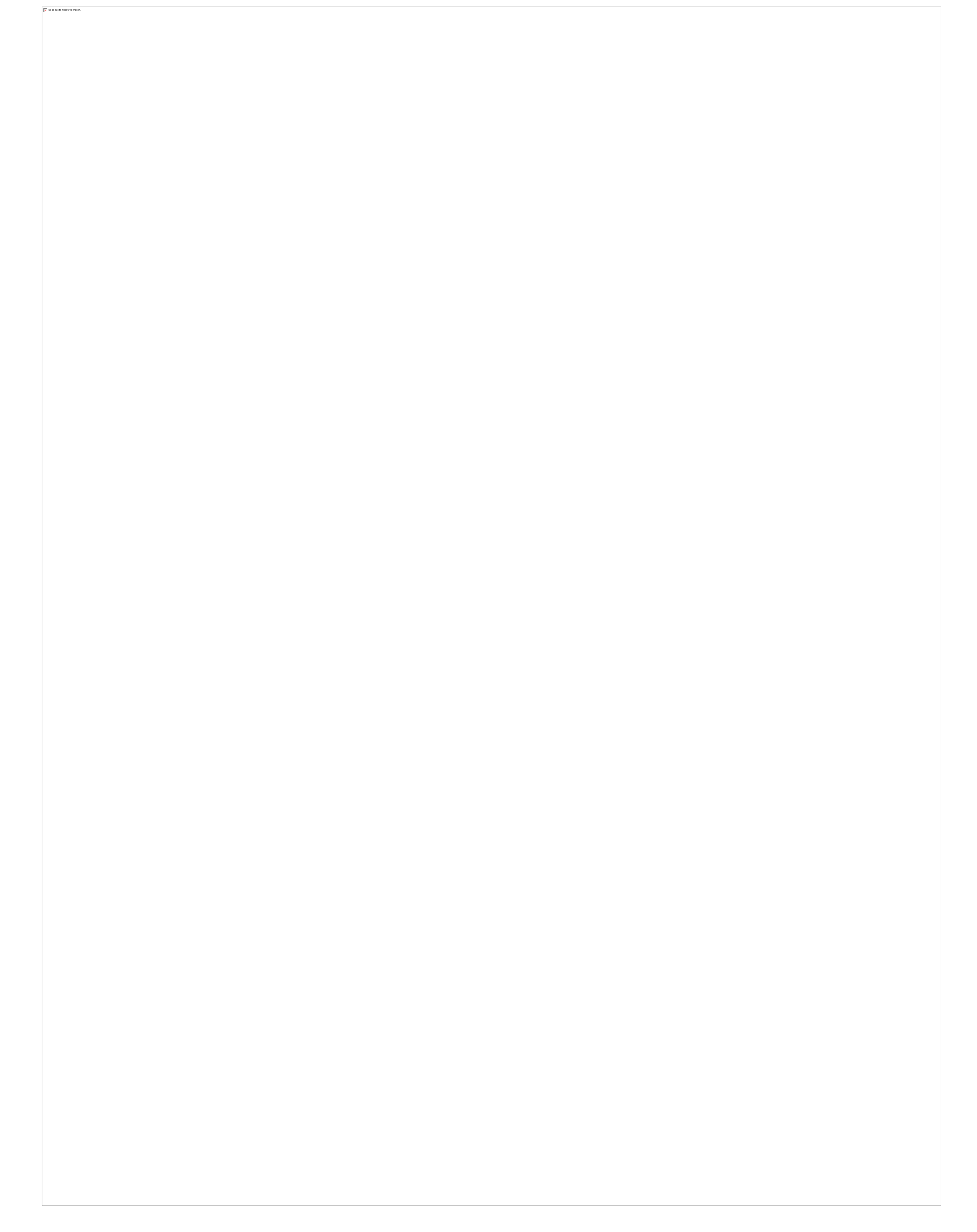

No se puede mostrar la imagen.

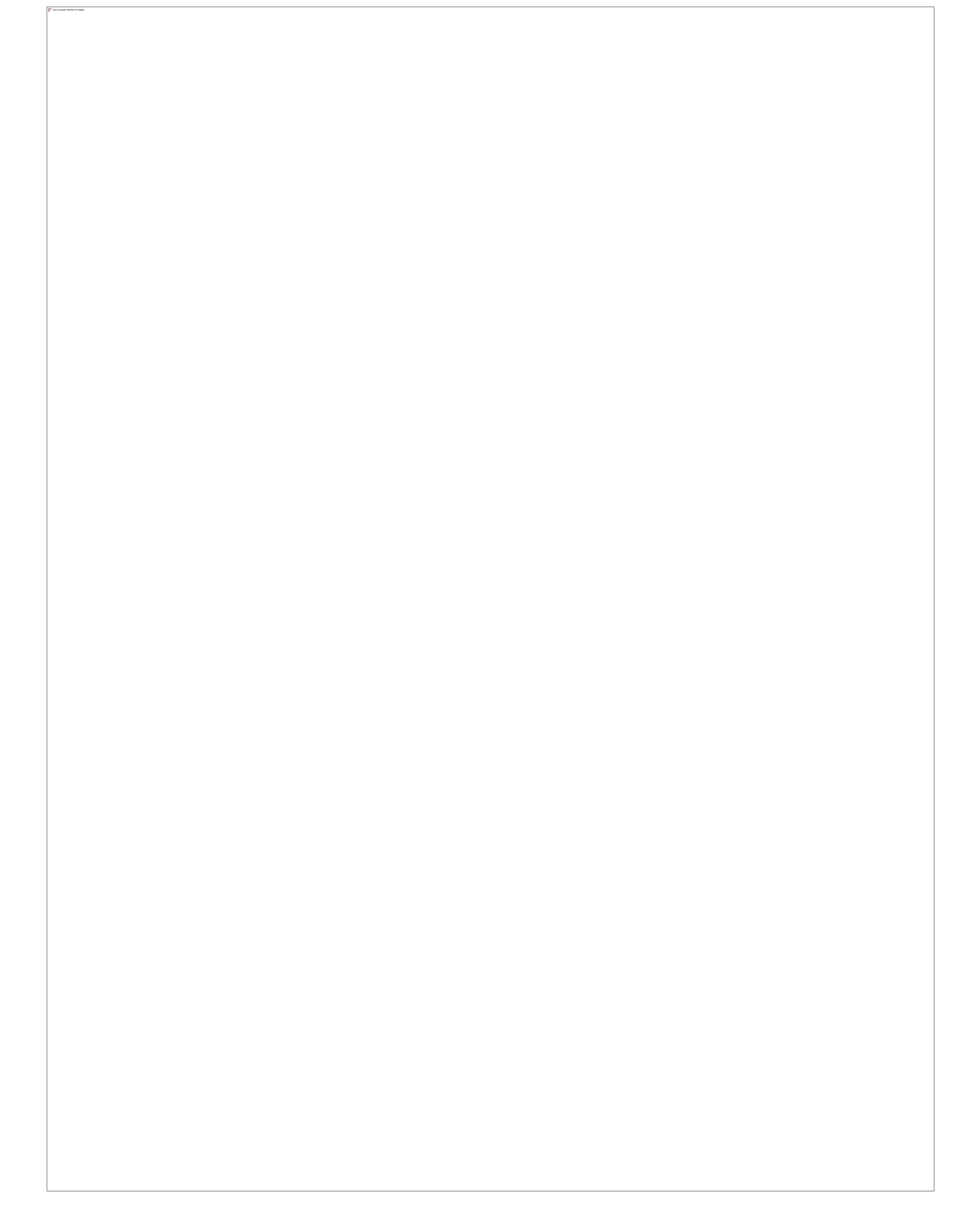

No se puede mostrar la imagen.

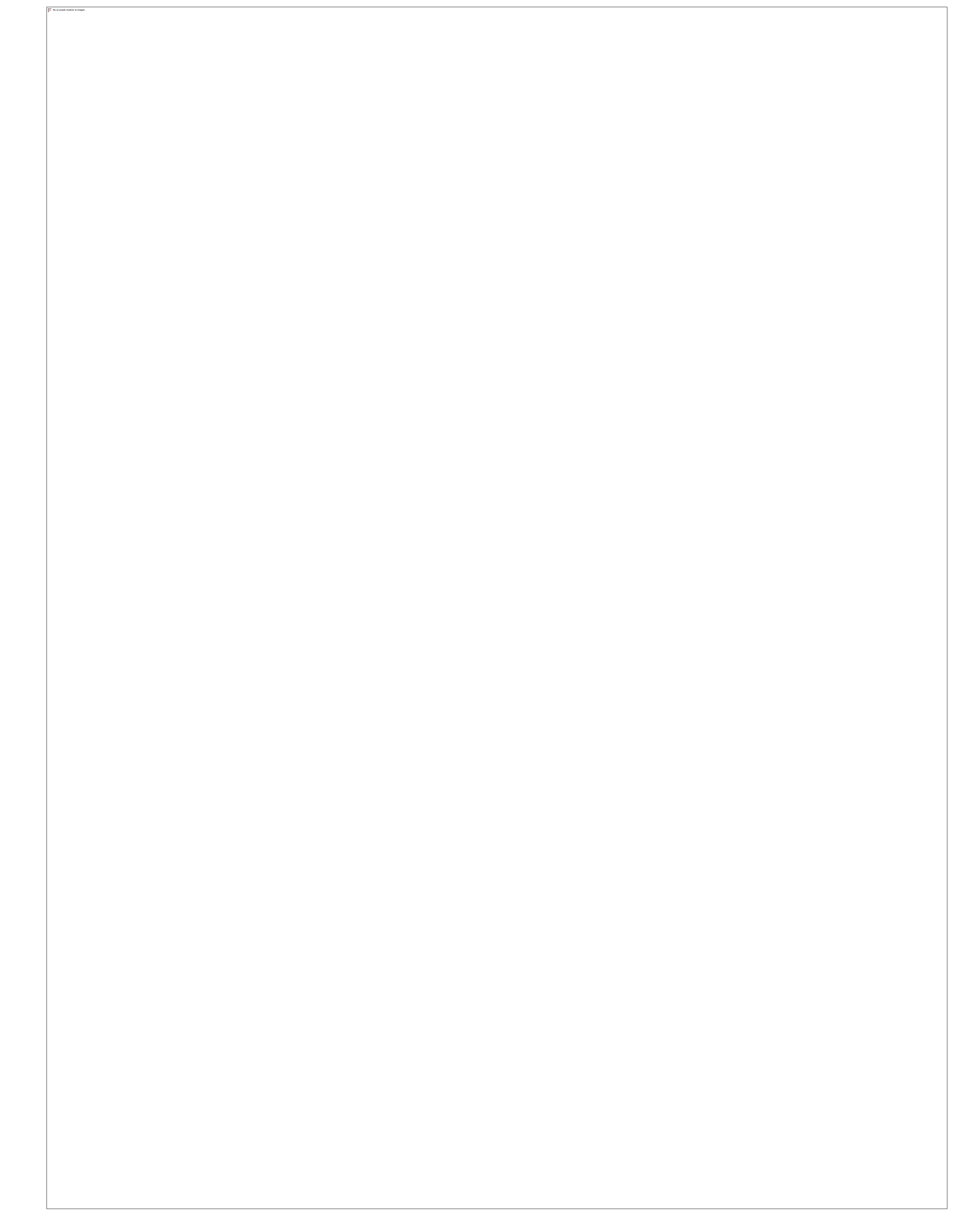

No se puede mostrar la imagen.

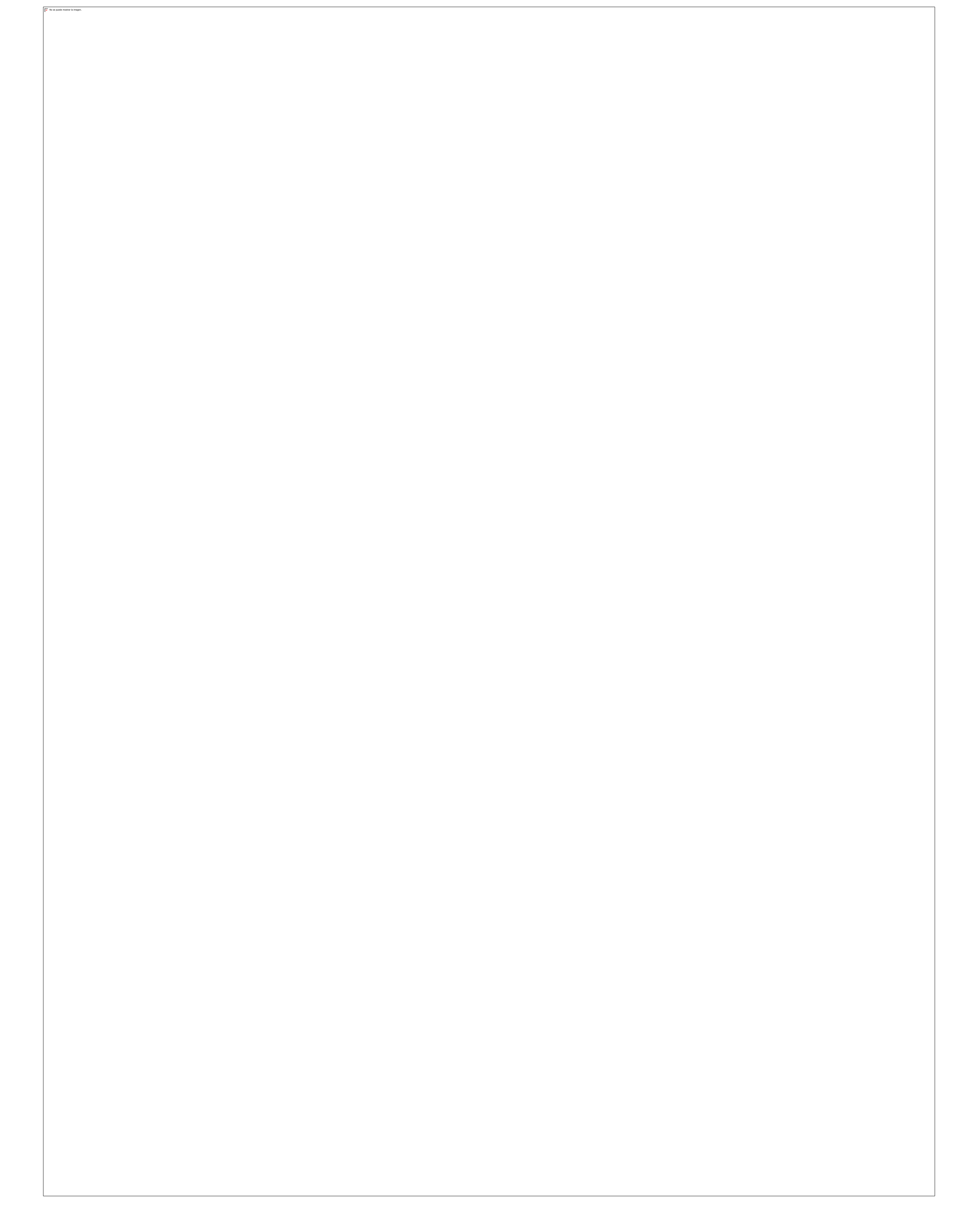

No se puede mostrar la imagen.

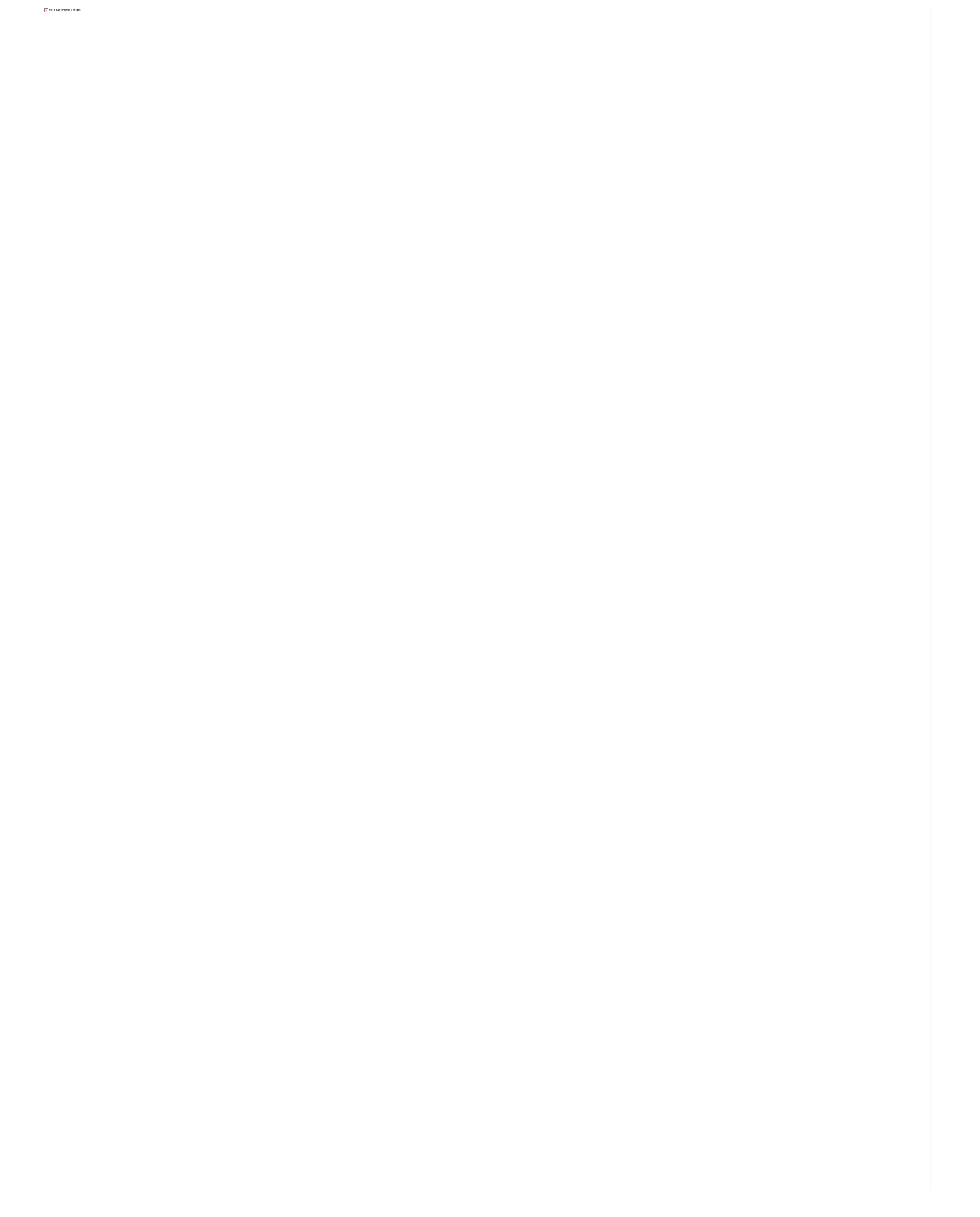

No se puede mostrar la imagen.

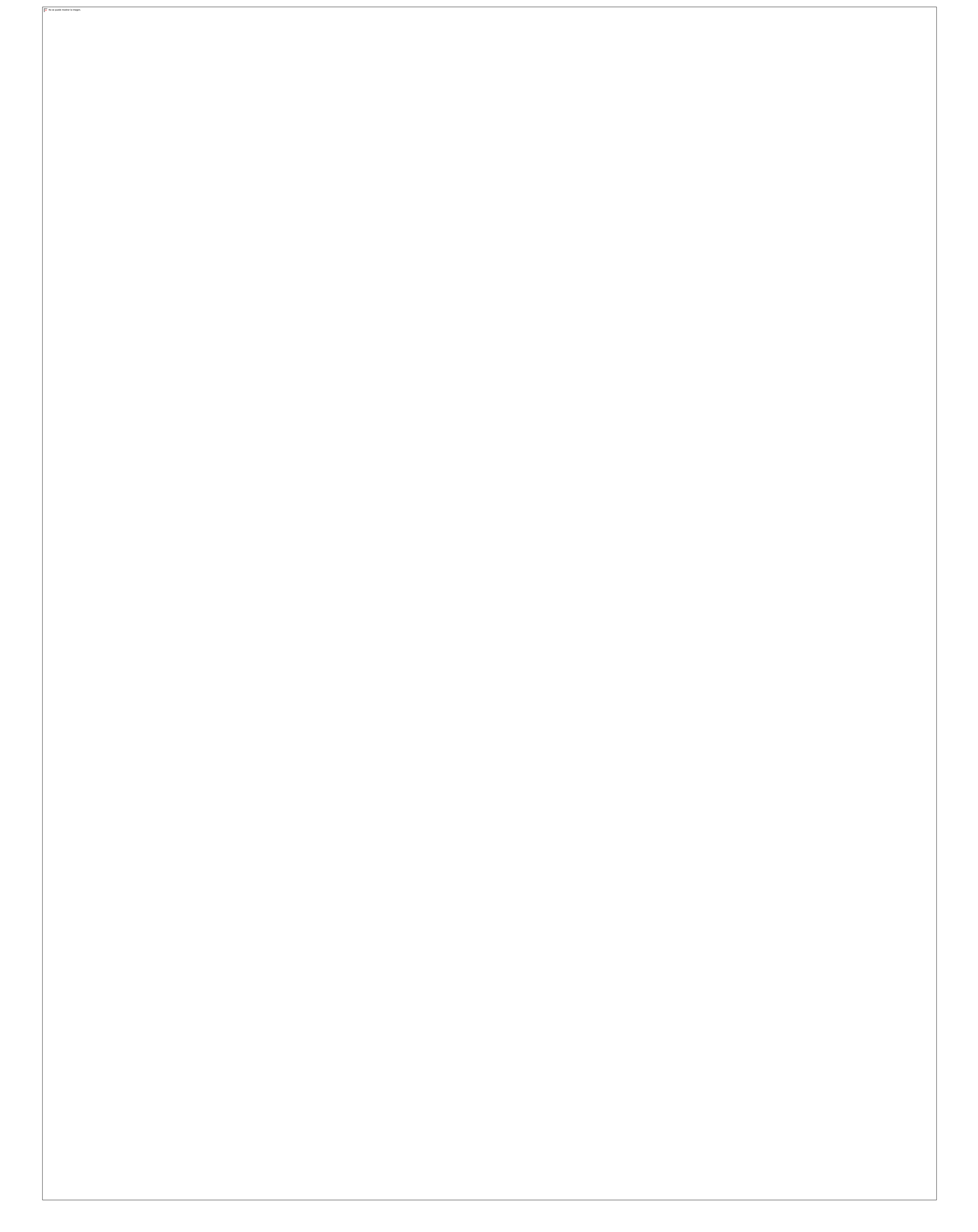

No se puede mostrar la imagen.

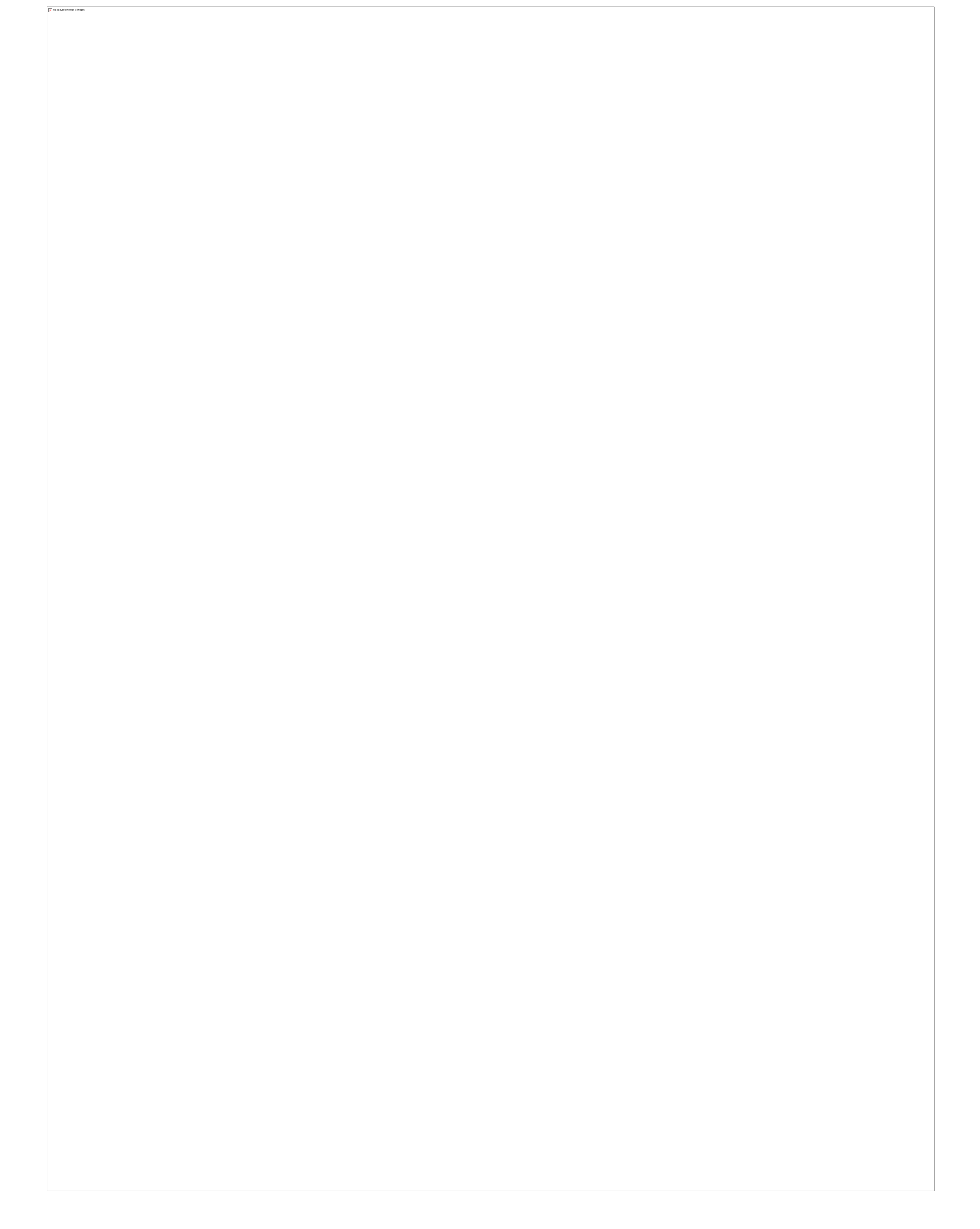

No se puede mostrar la imagen.

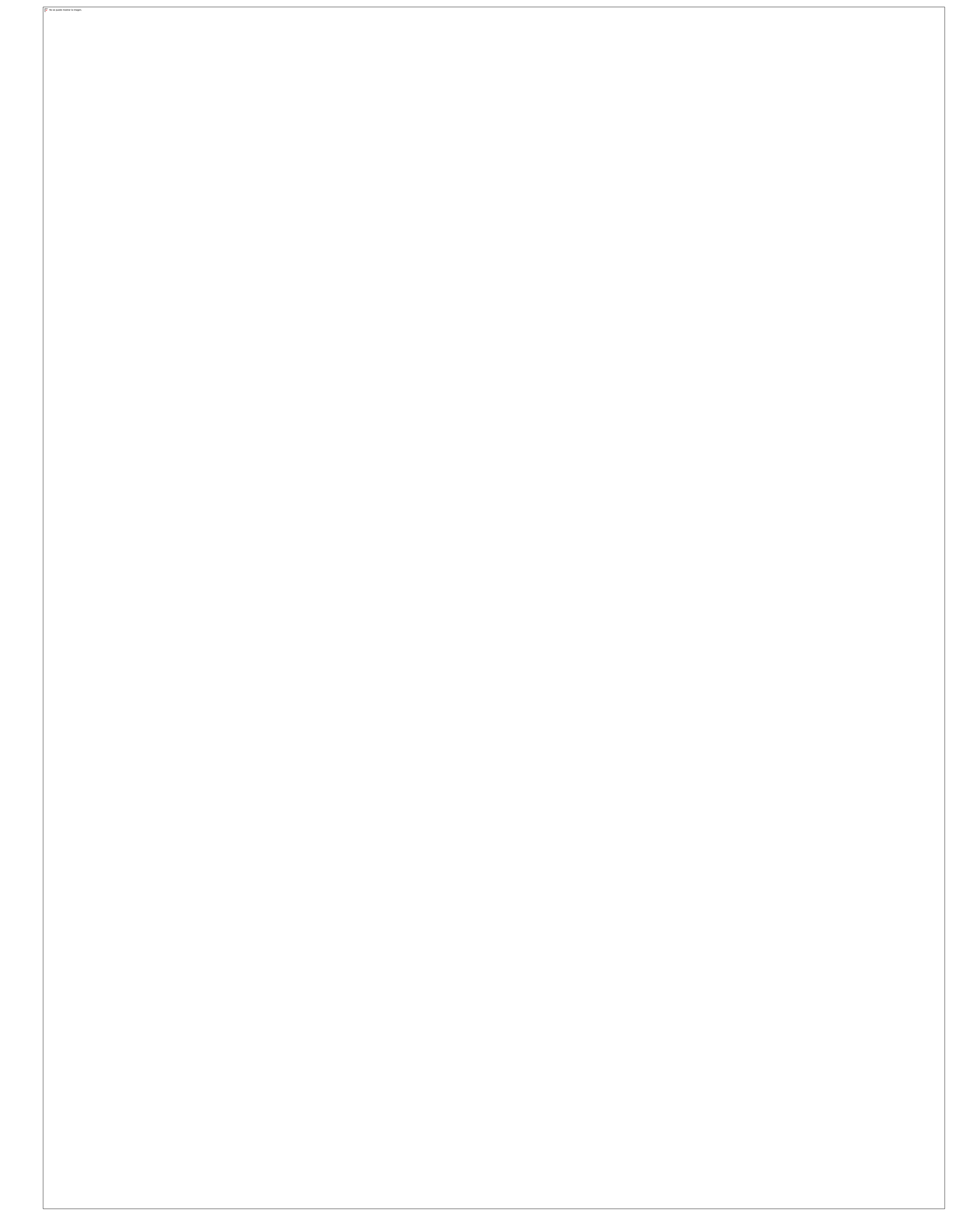

No se puede mostrar la imagen.

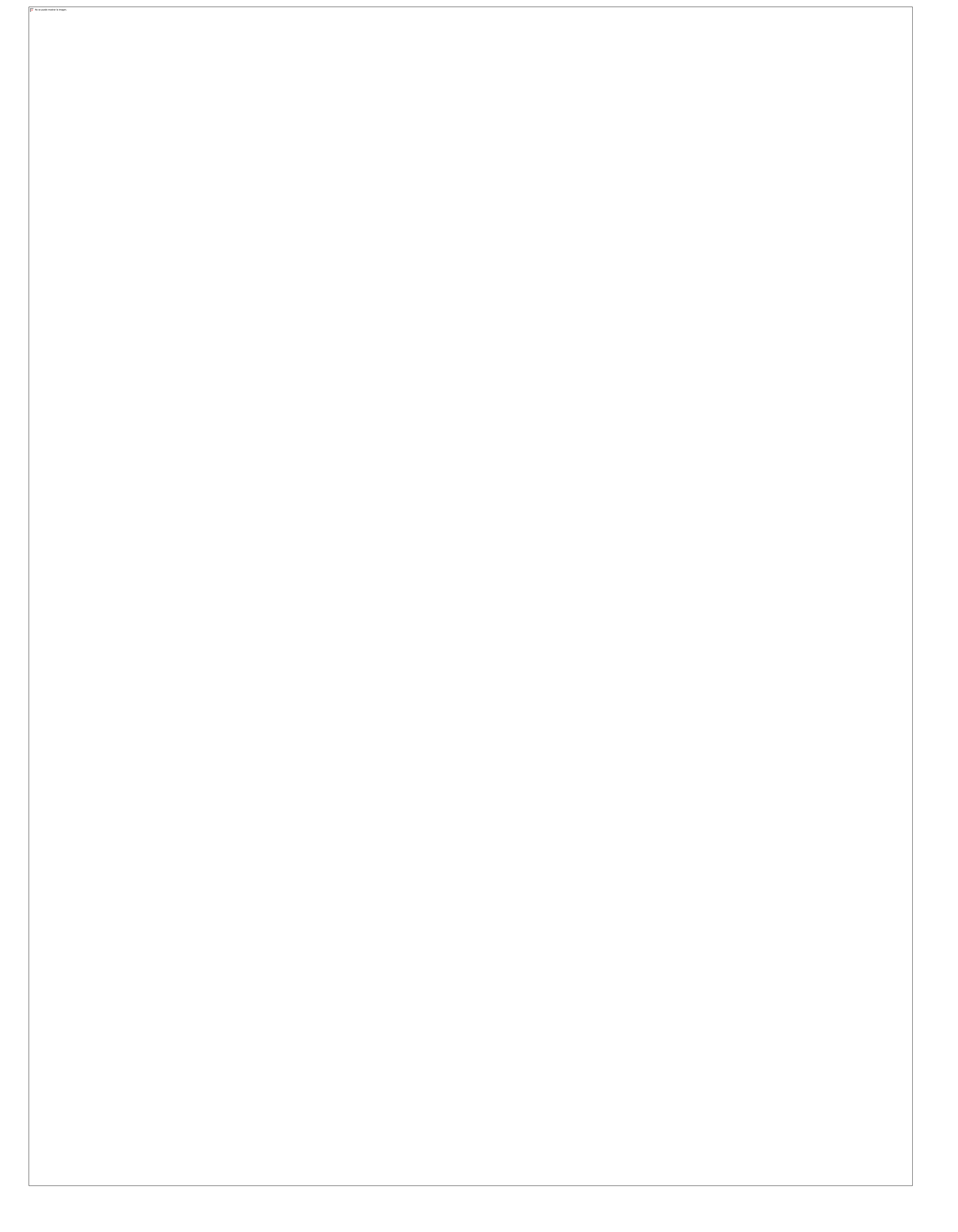

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

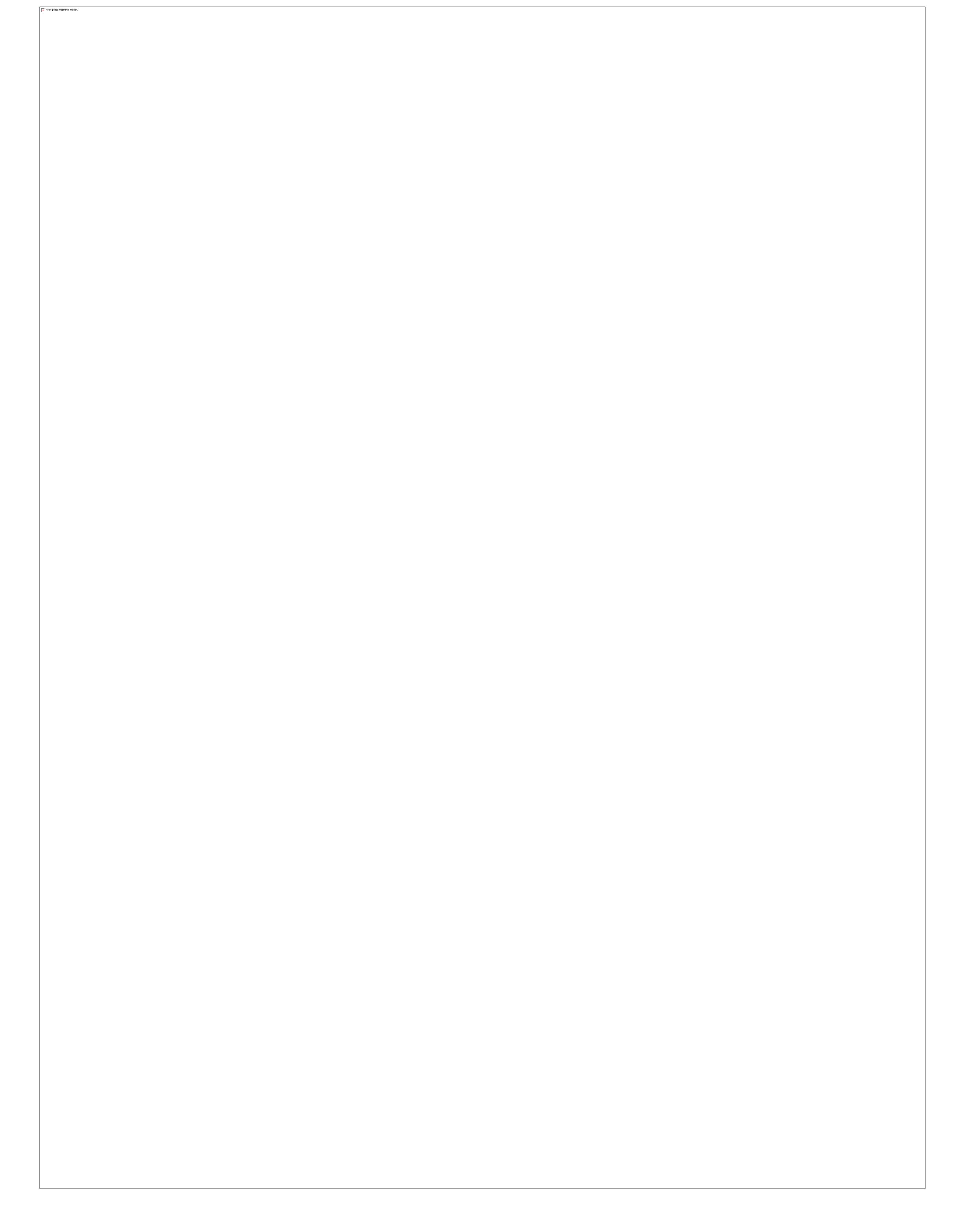

No se puede mostrar la imagen.

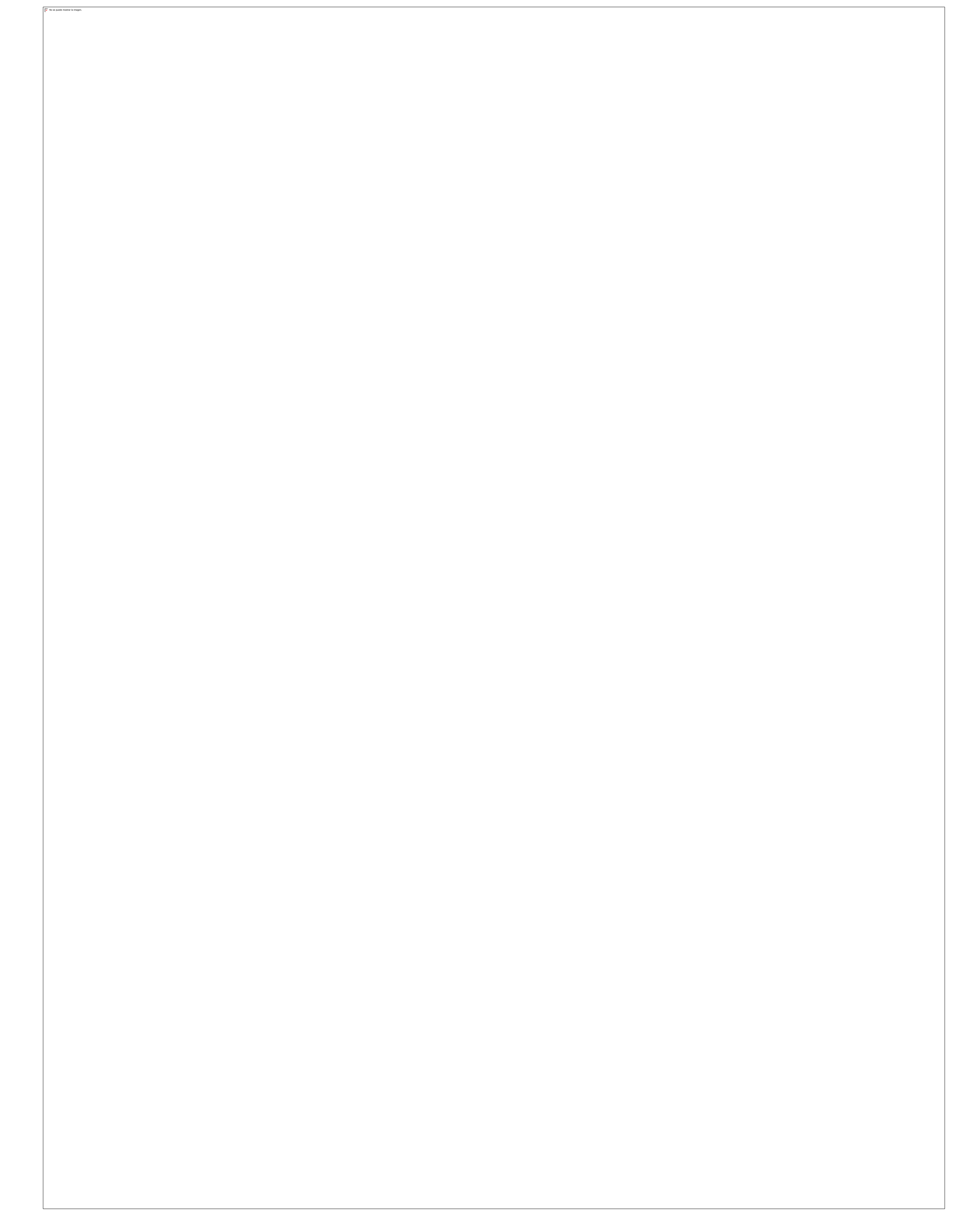

No se puede mostrar la imagen.

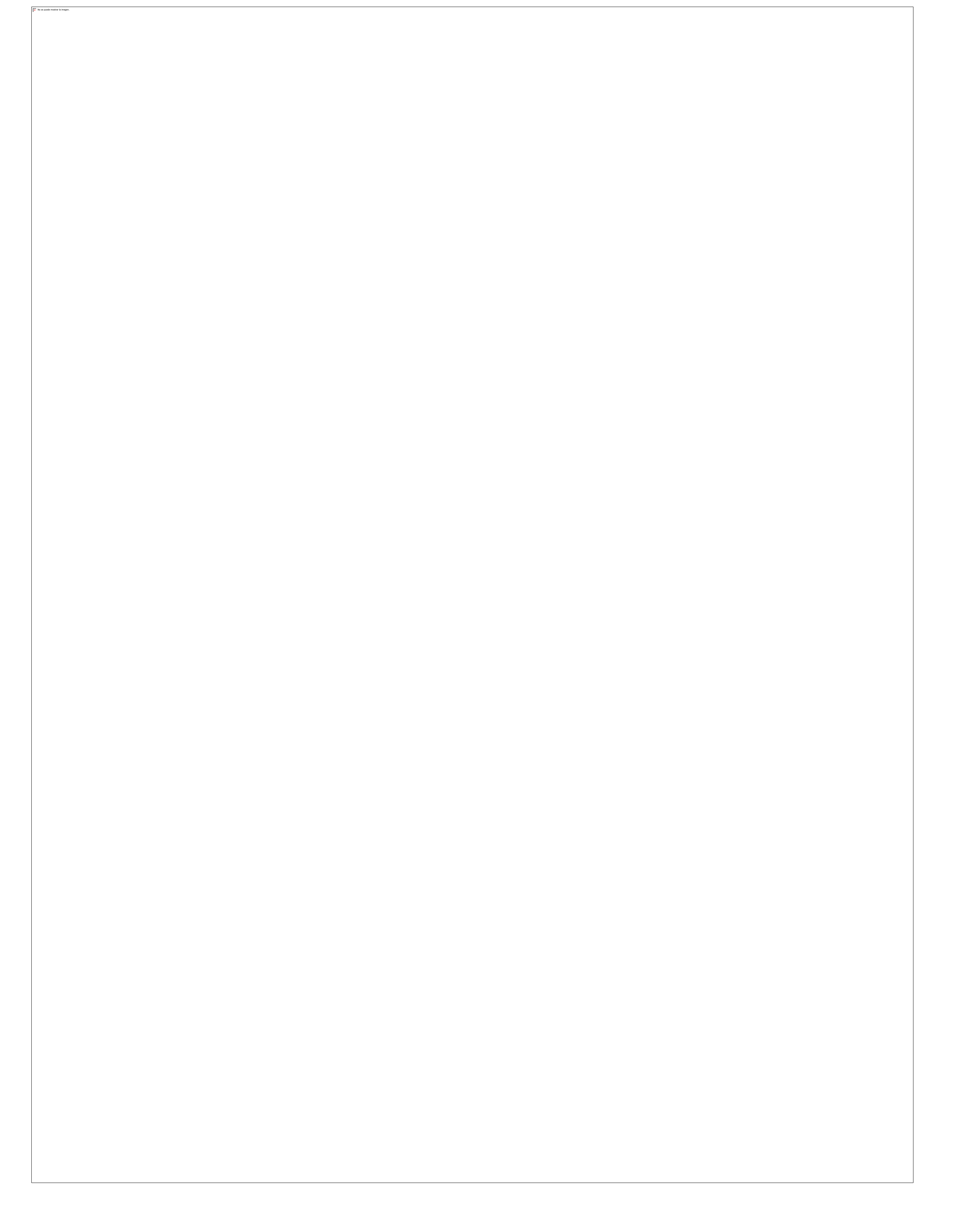

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

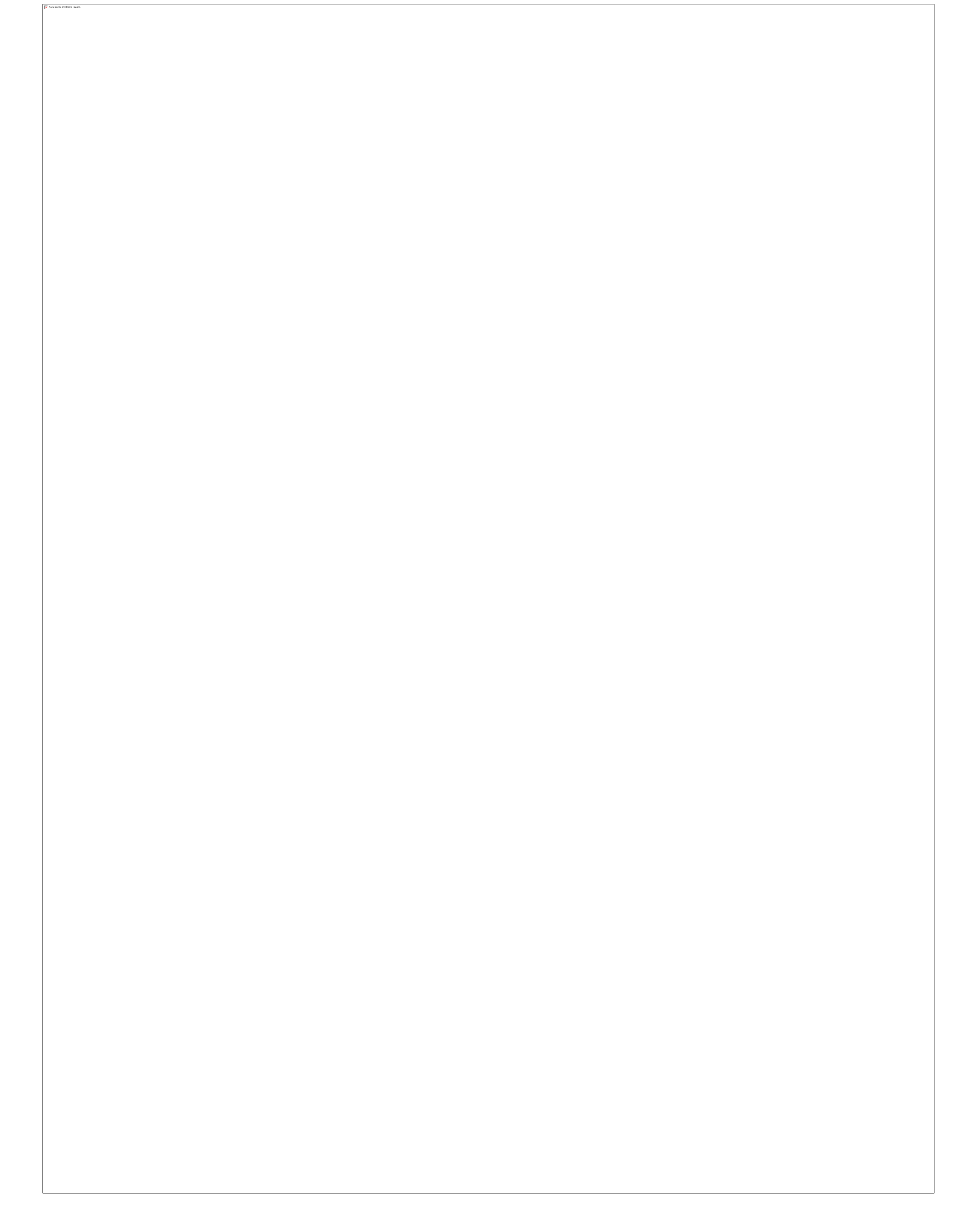
No se puede mostrar la imagen.

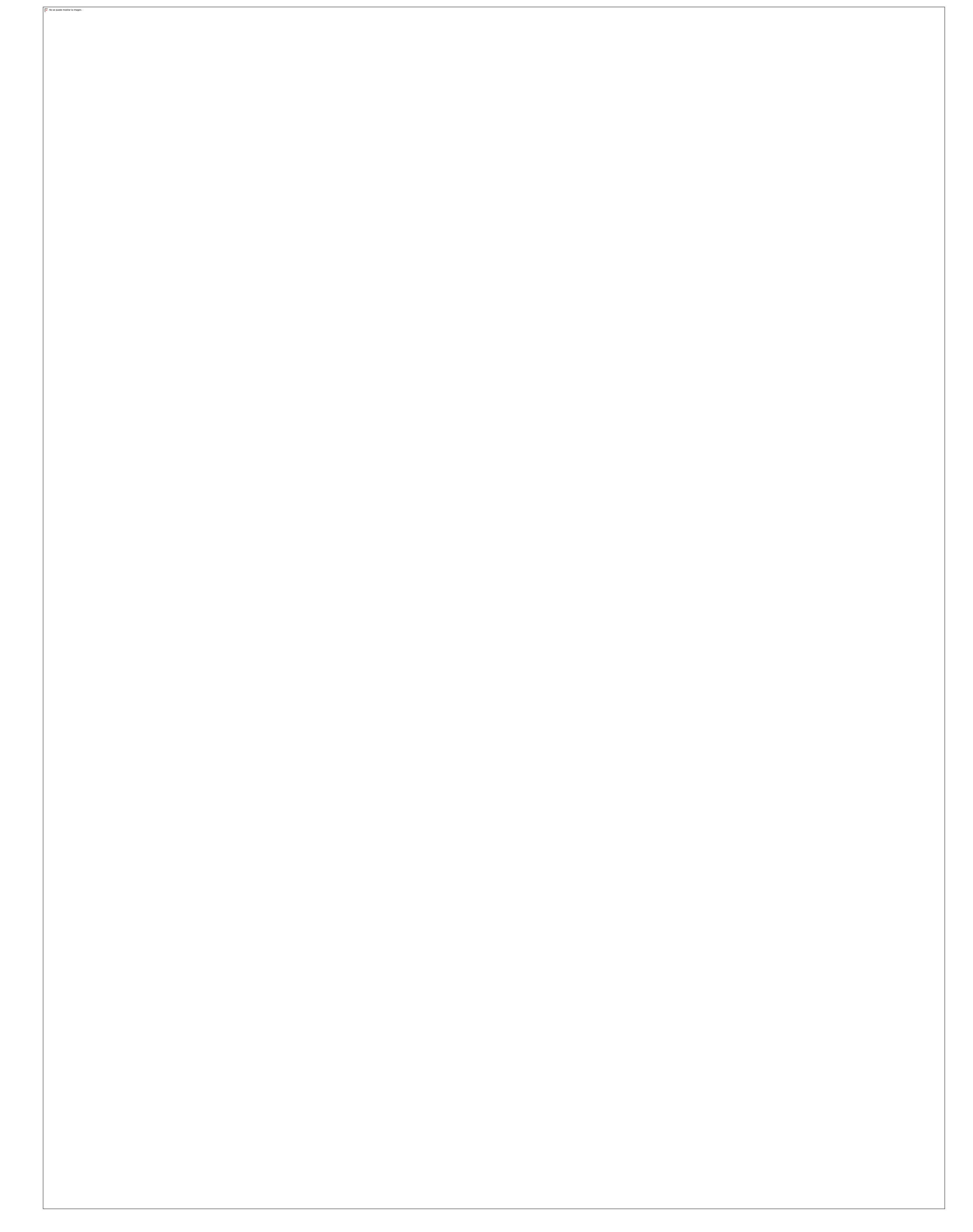

No se puede mostrar la imagen.

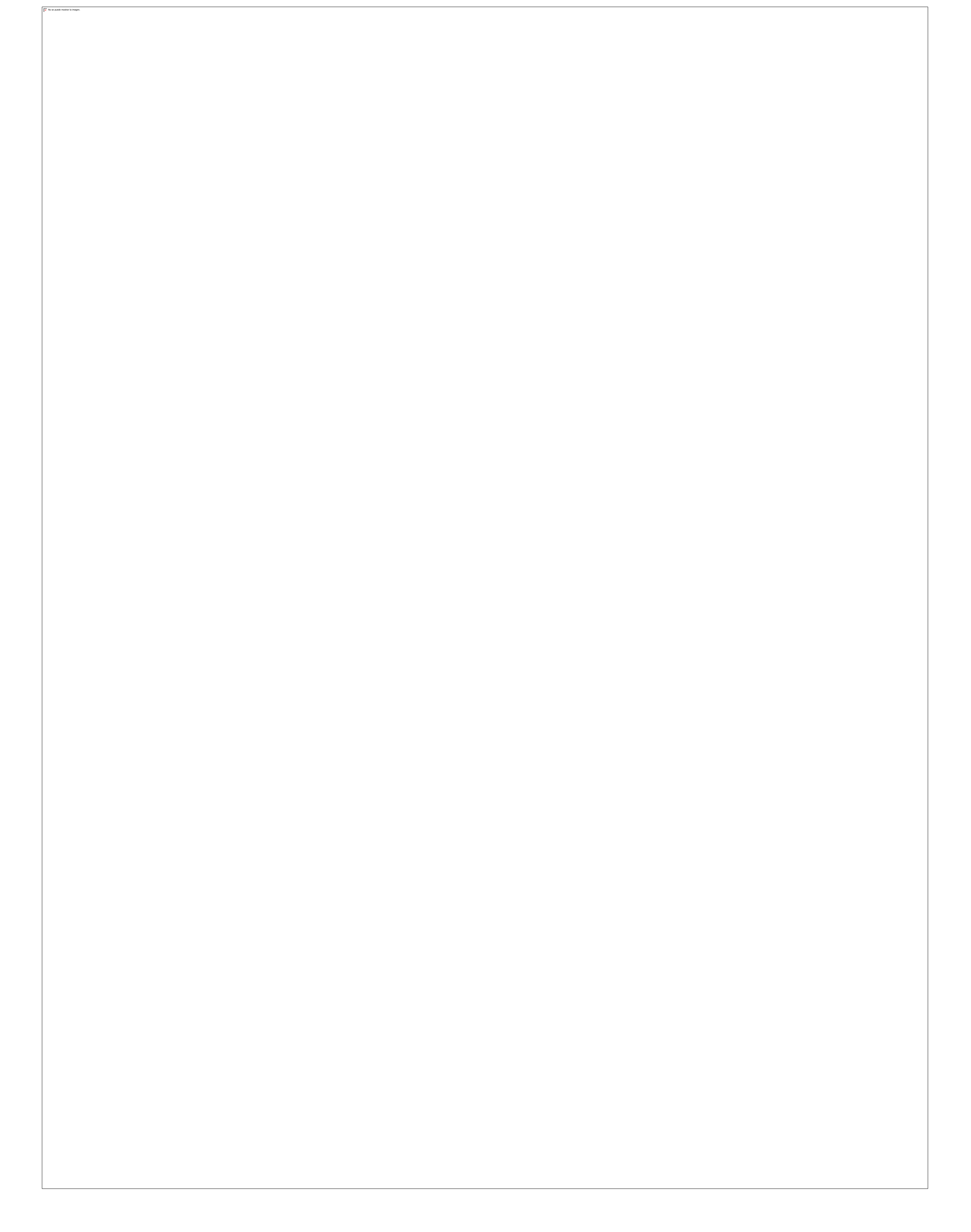

No se puede mostrar la imagen.

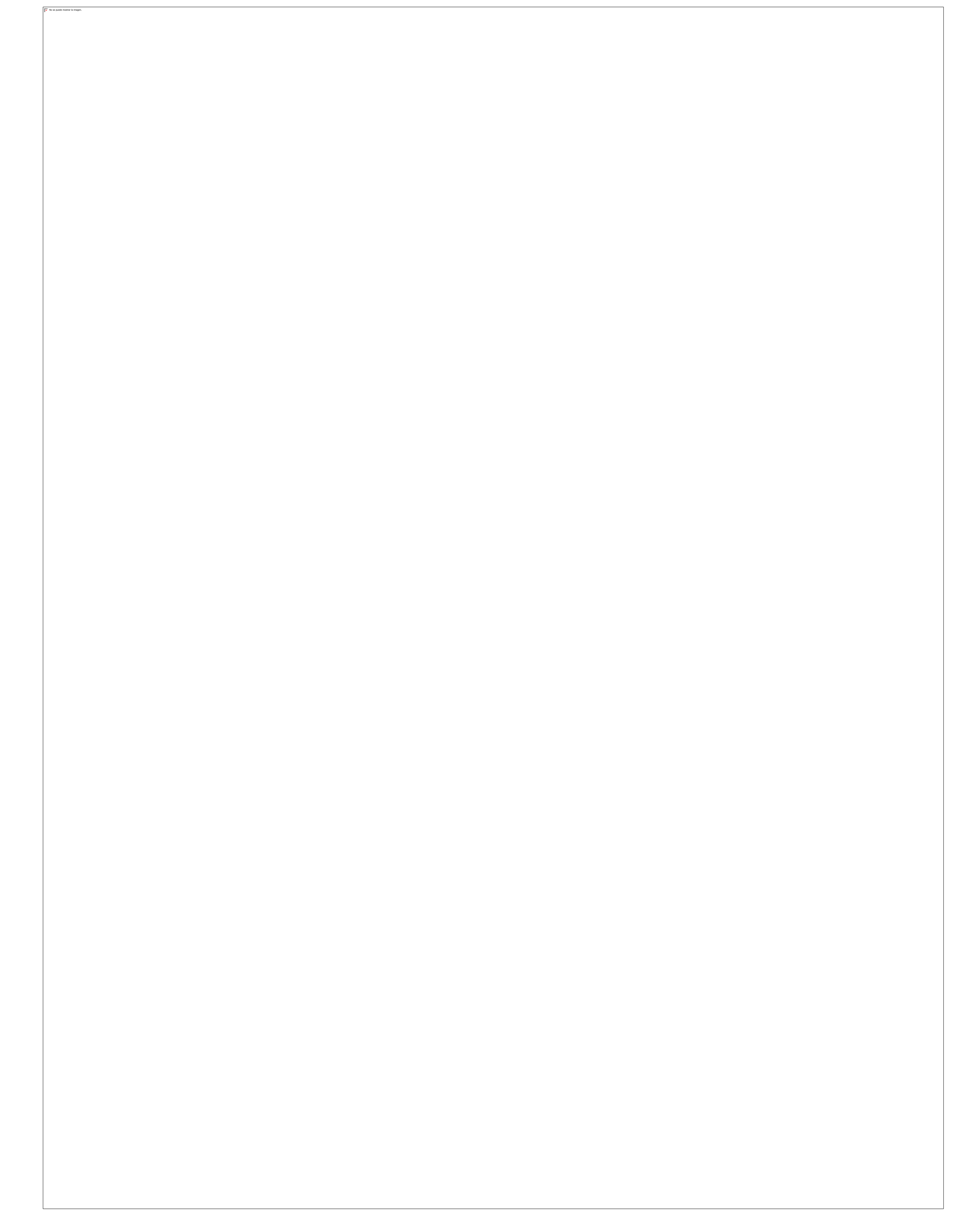

No se puede mostrar la imagen.

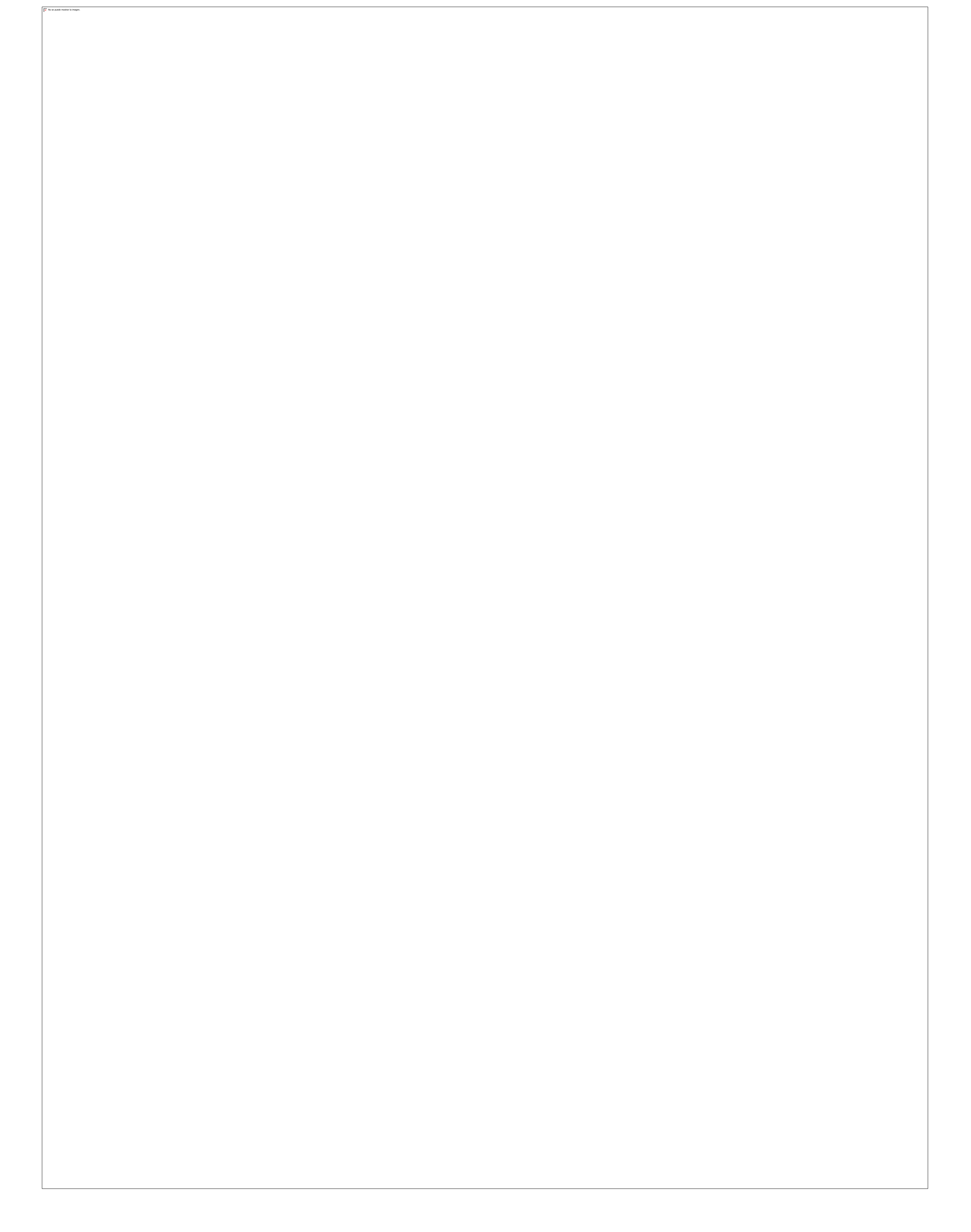
No se puede mostrar la imagen.

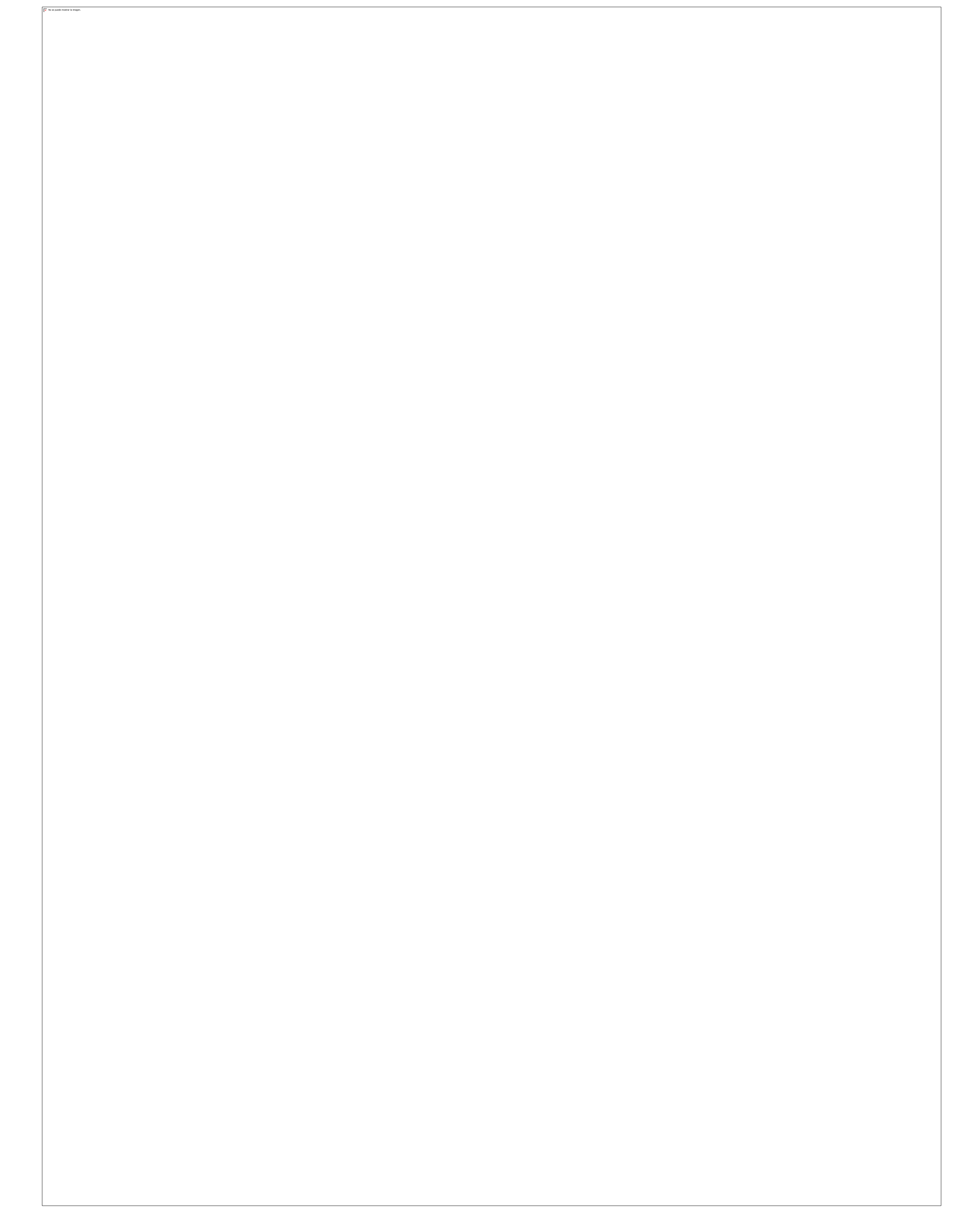

No se puede mostrar la imagen.

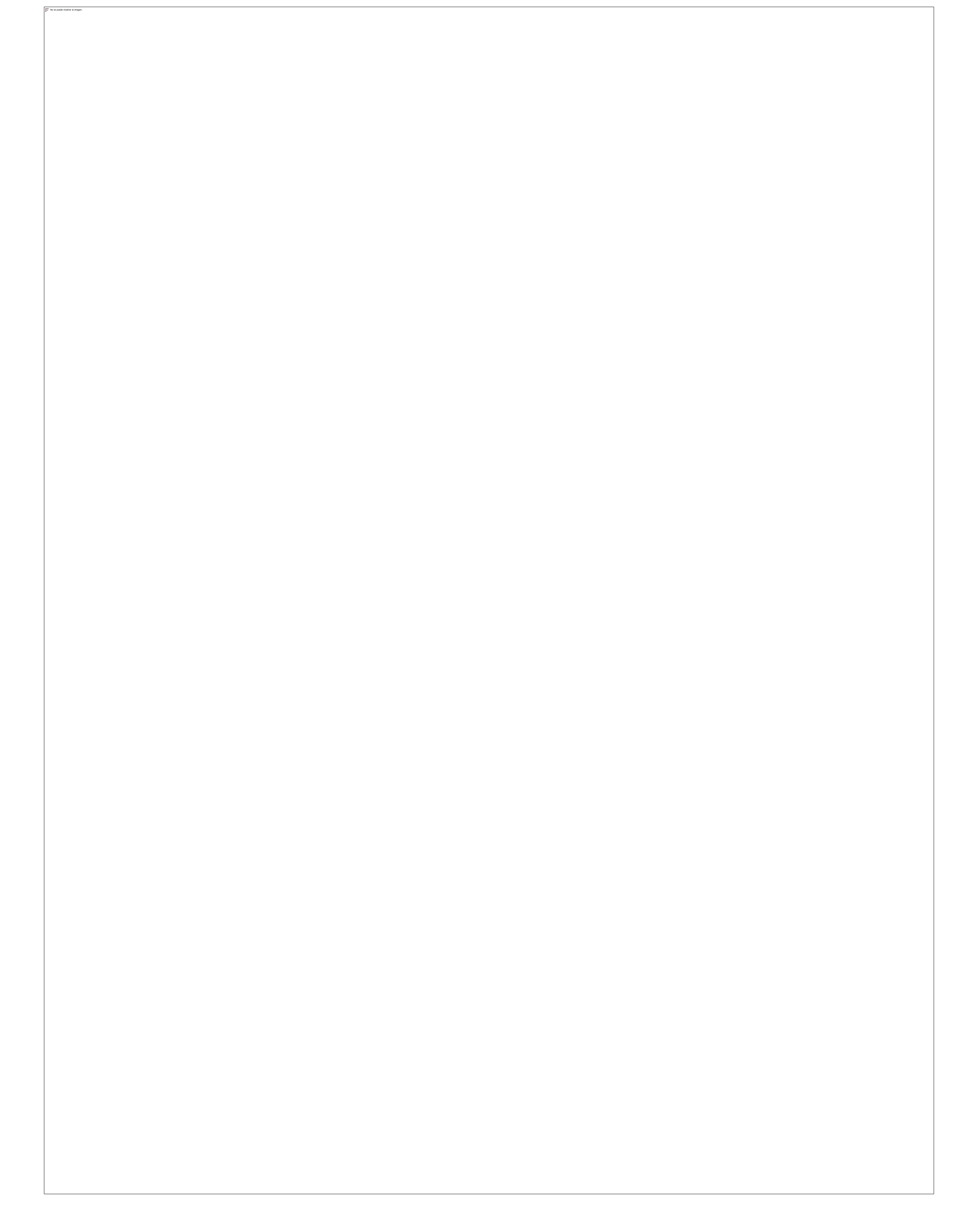

No se puede mostrar la imagen.

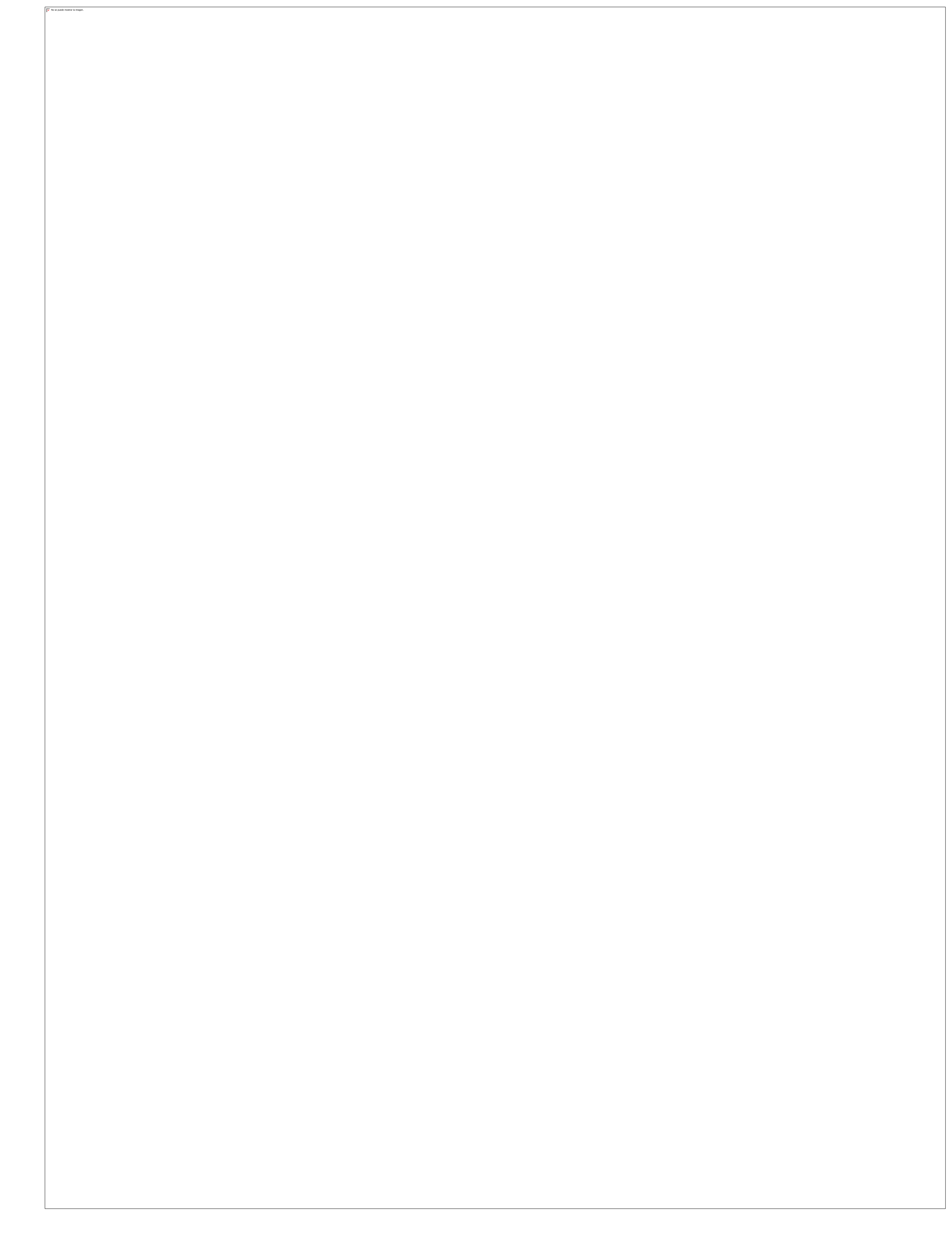

No se puede mostrar la imagen.

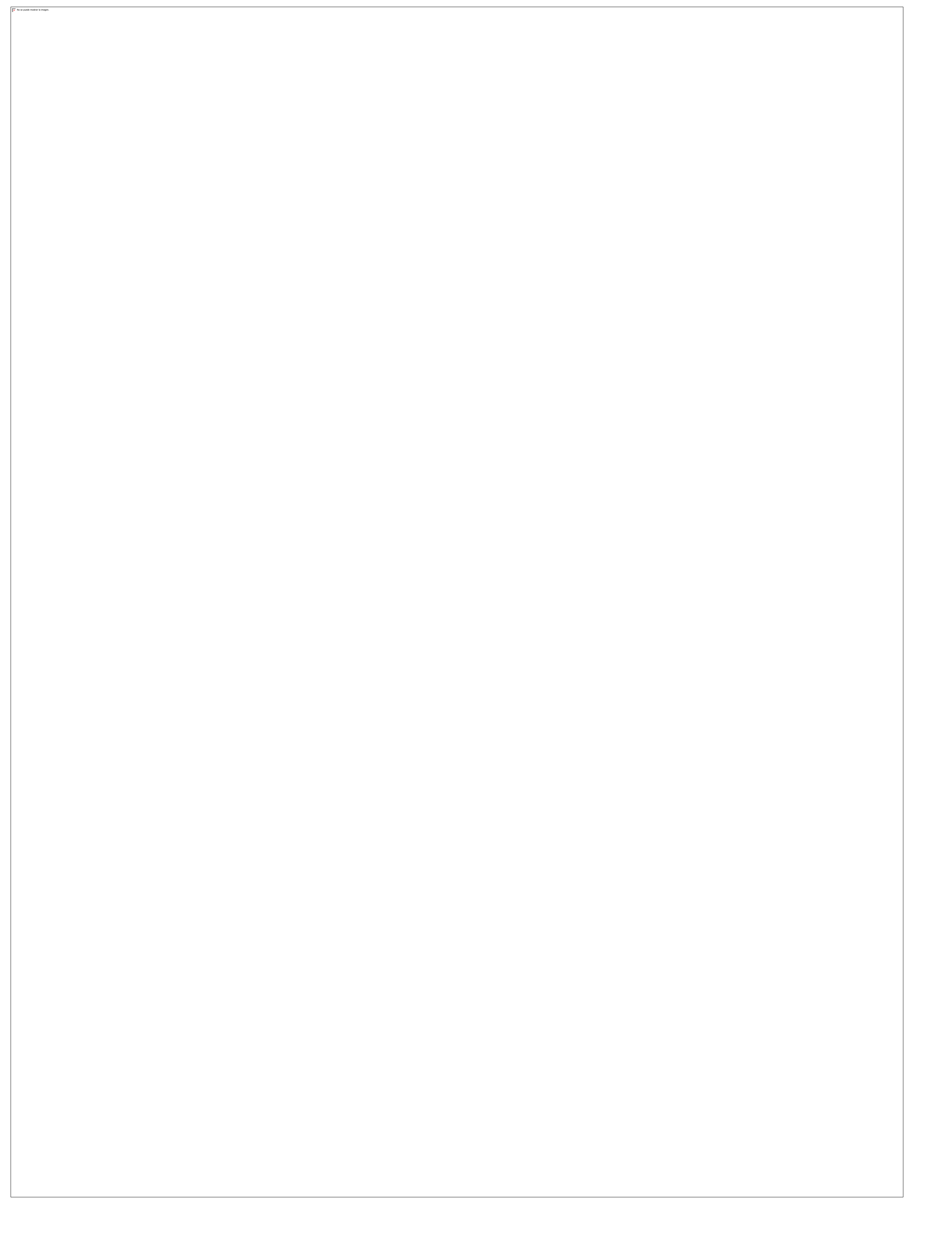

No se puede mostrar la imagen.

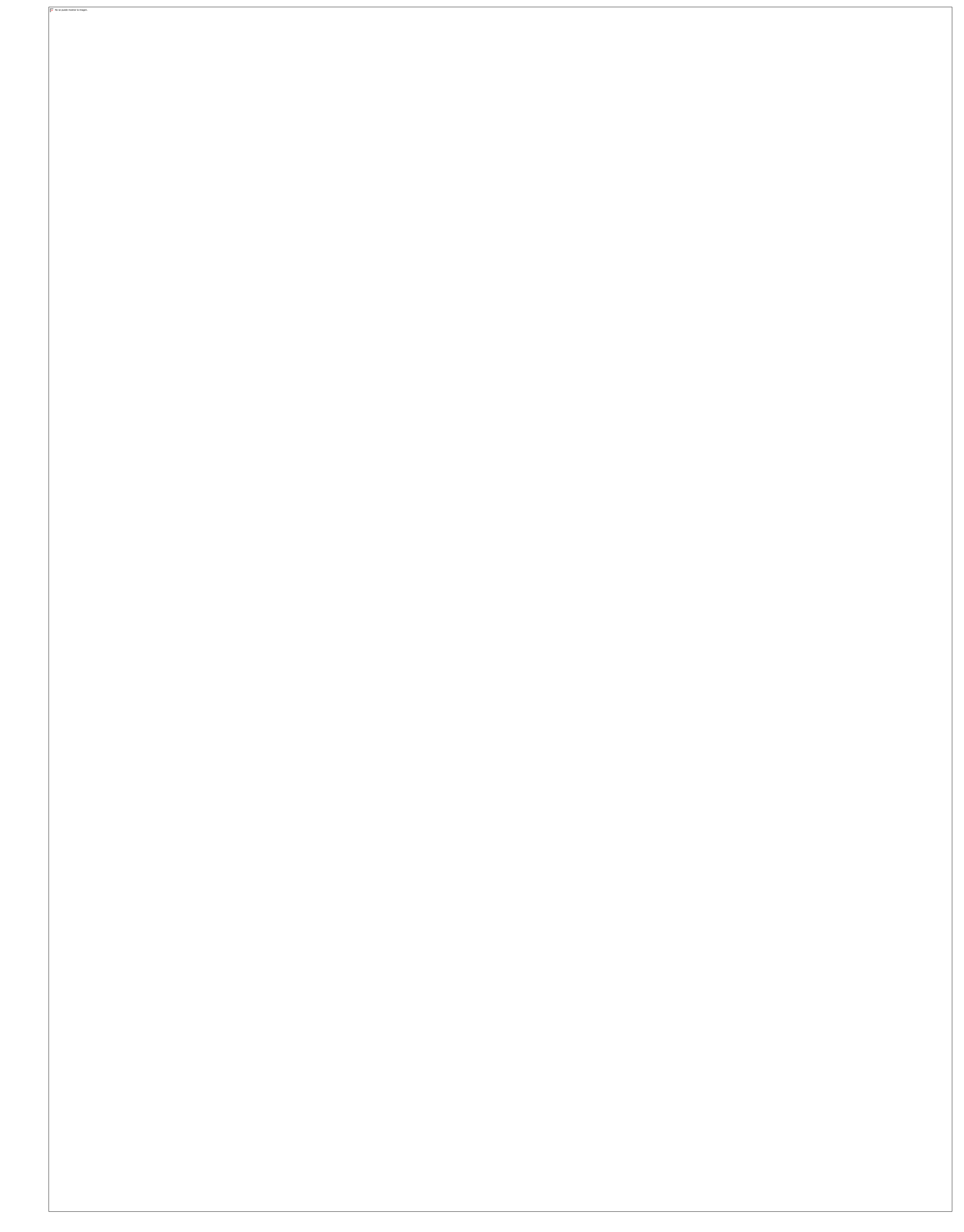

No se puede mostrar la imagen.

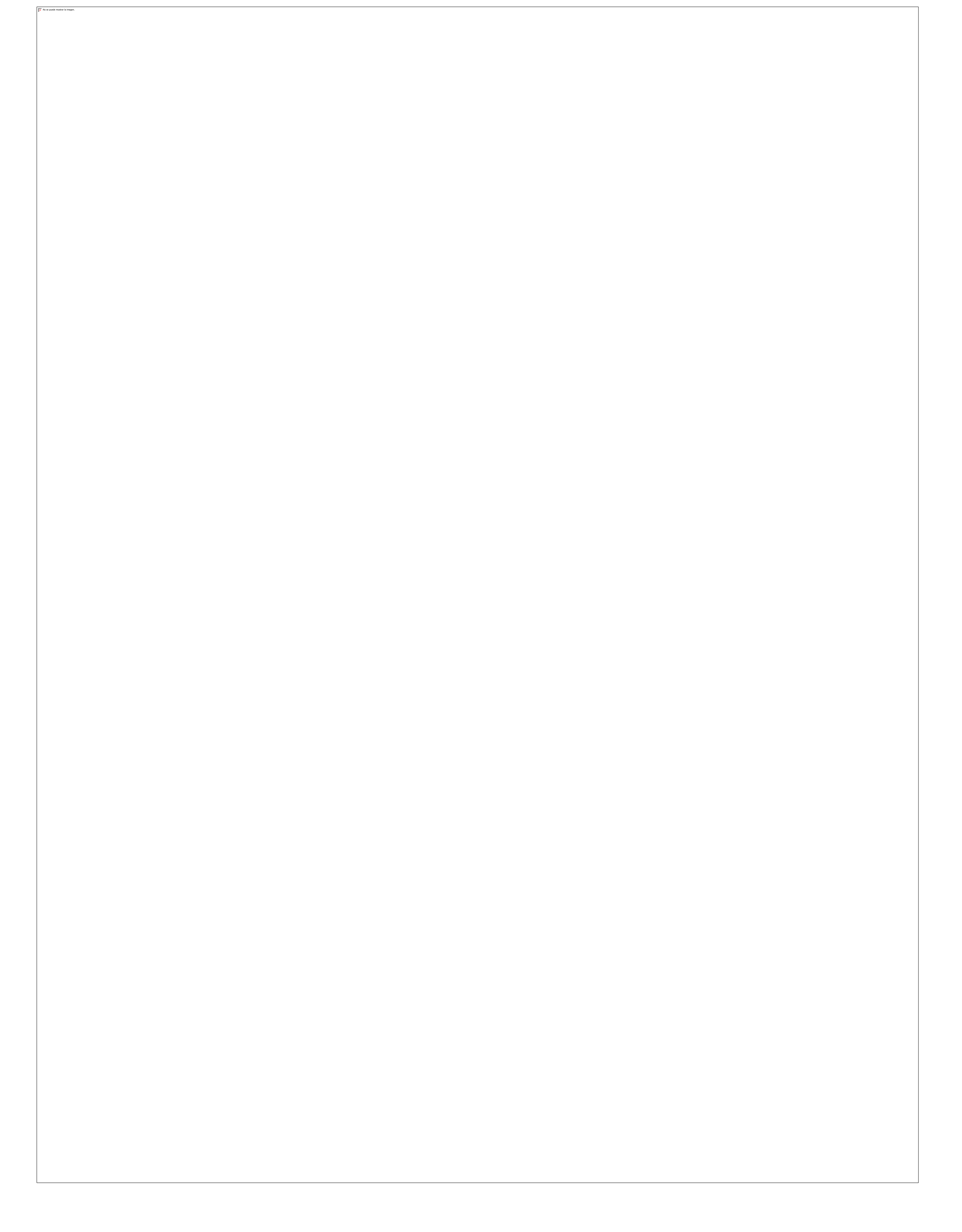

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

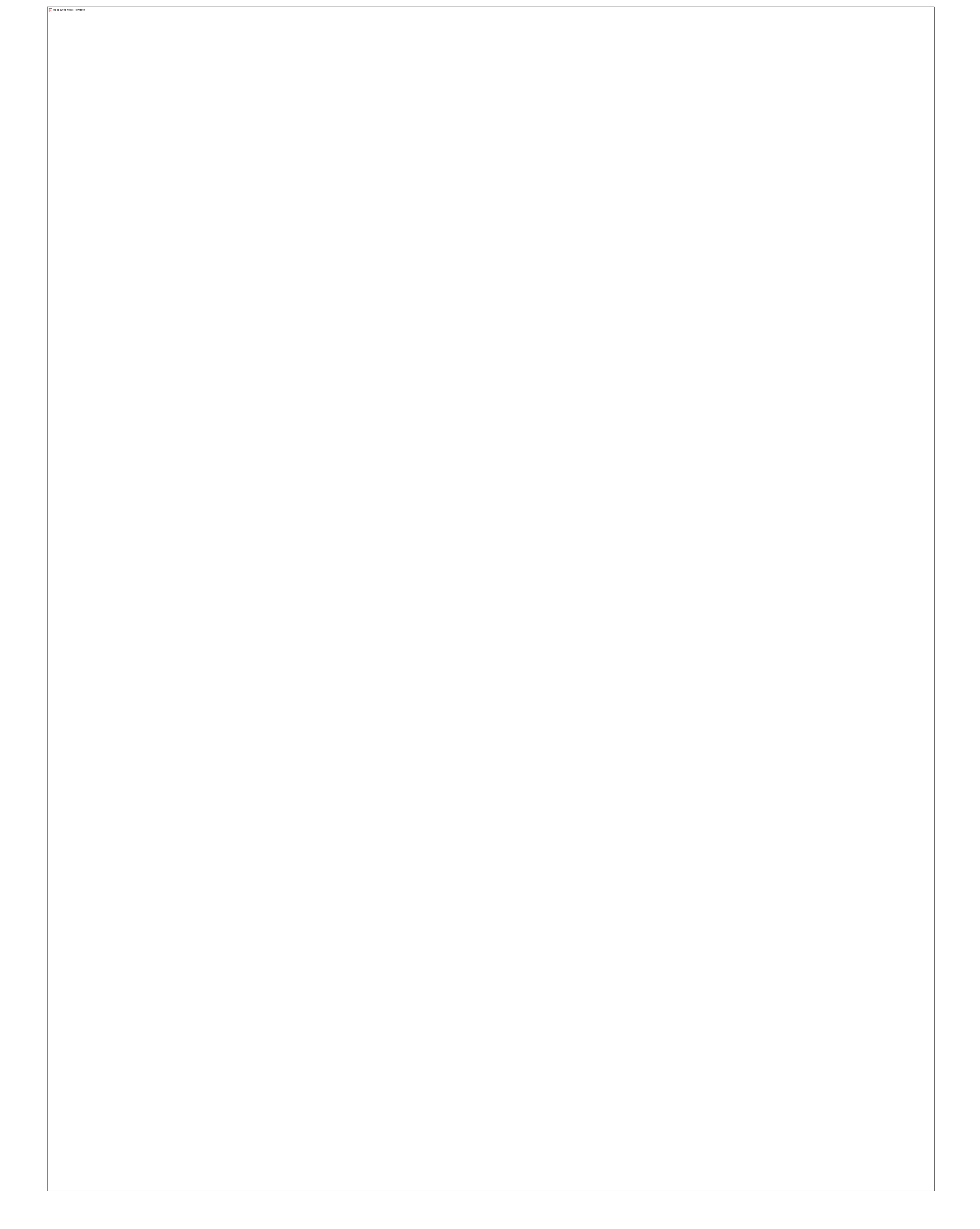

No se puede mostrar la imagen.

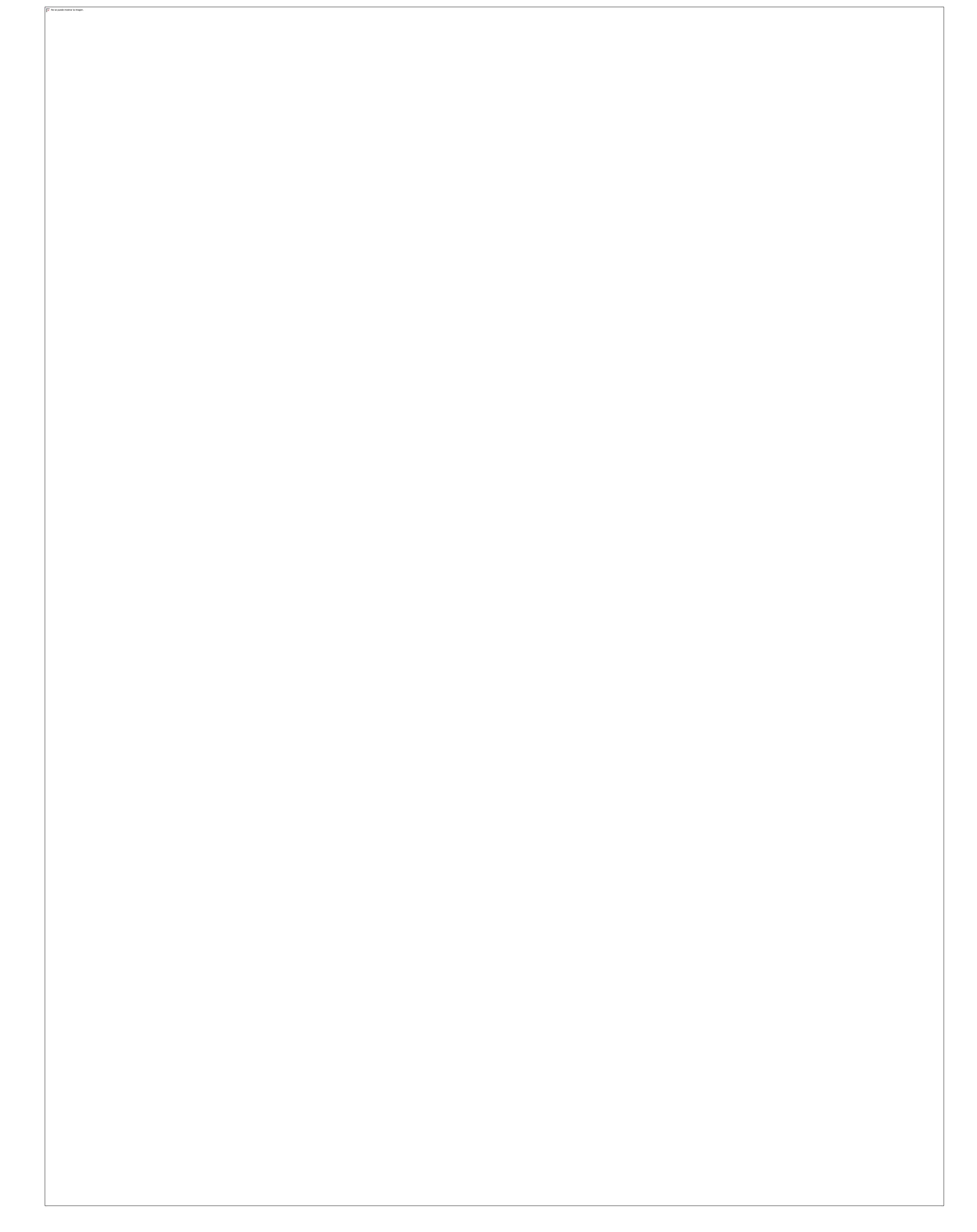

No se puede mostrar la imagen.

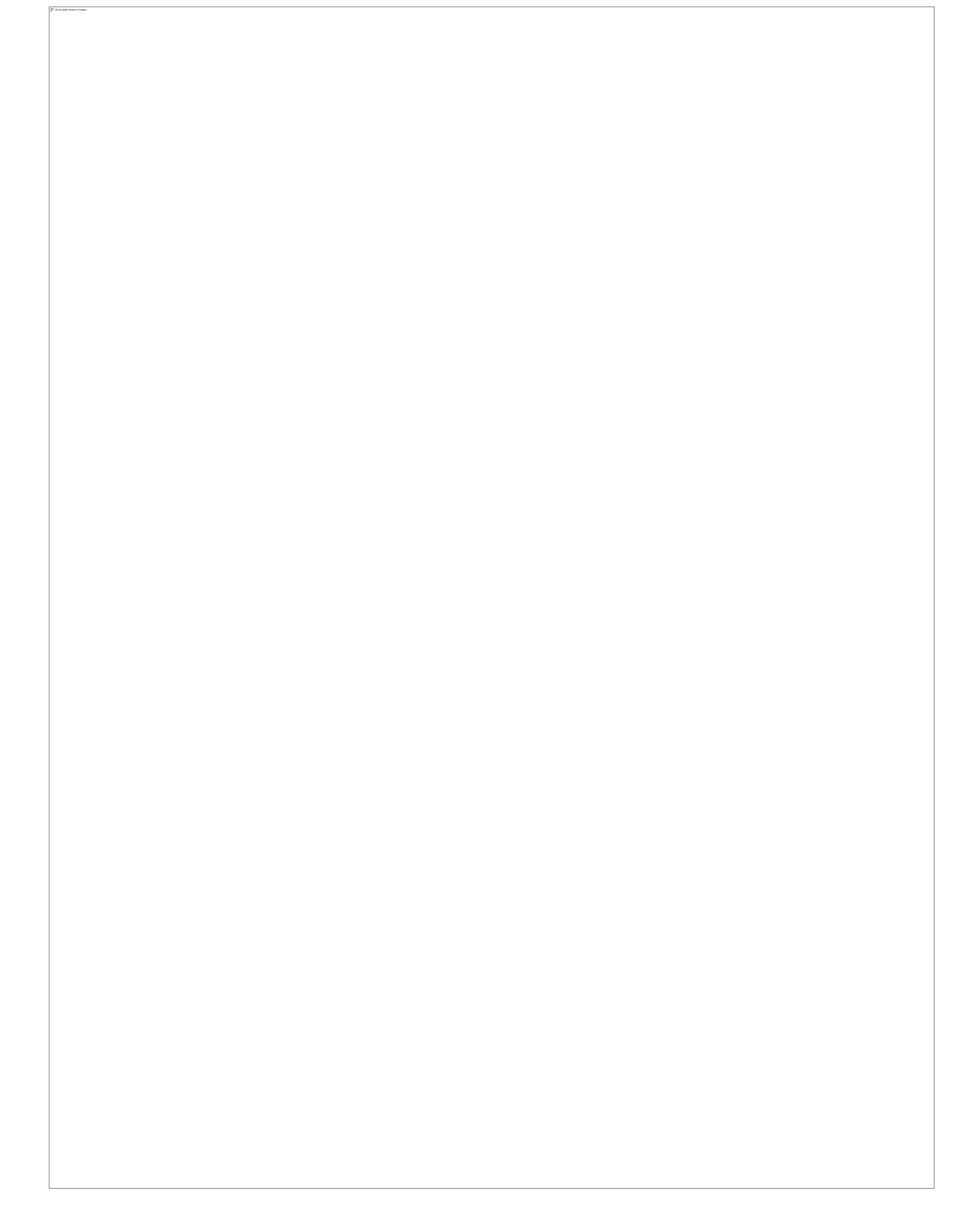

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

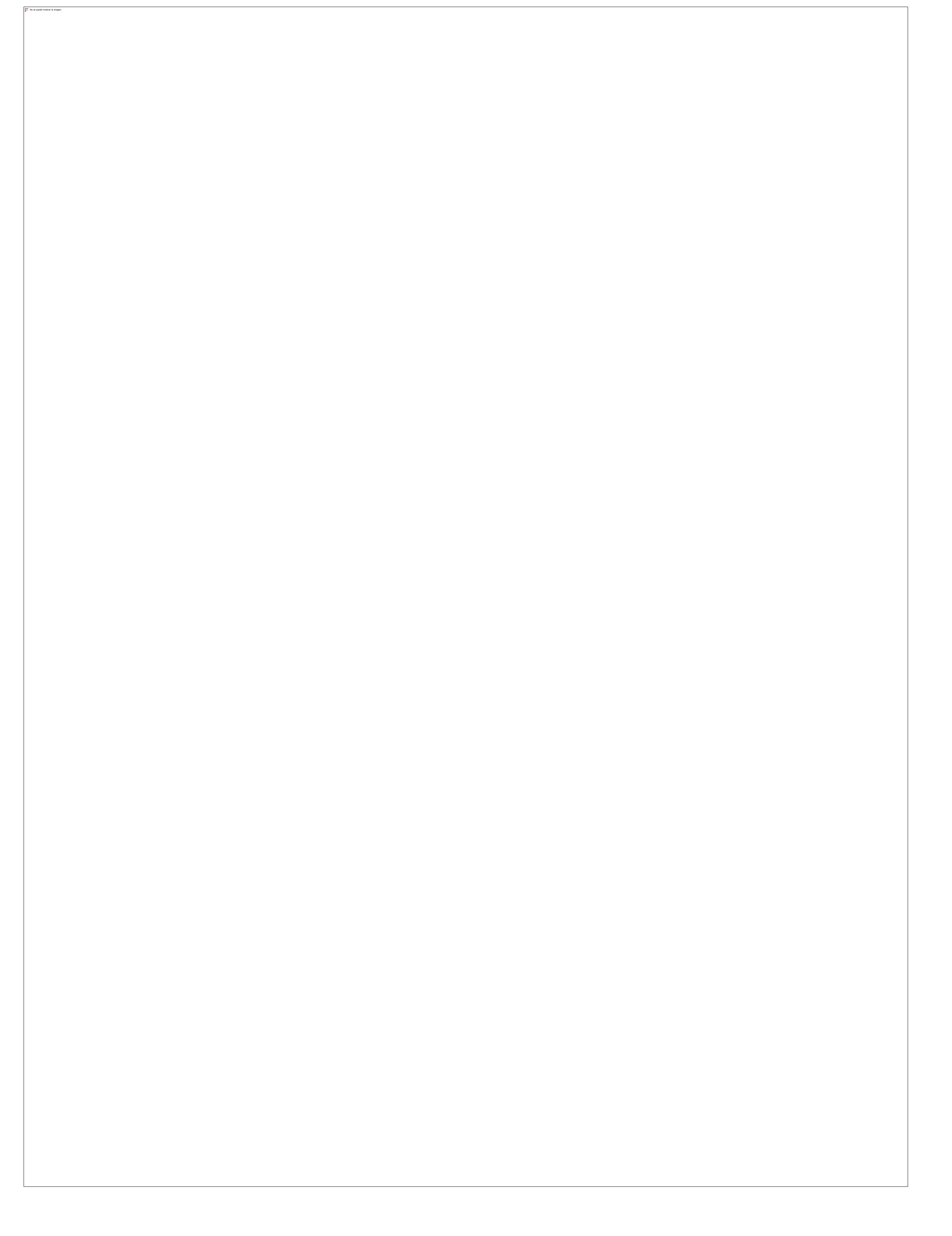
No se puede mostrar la imagen.

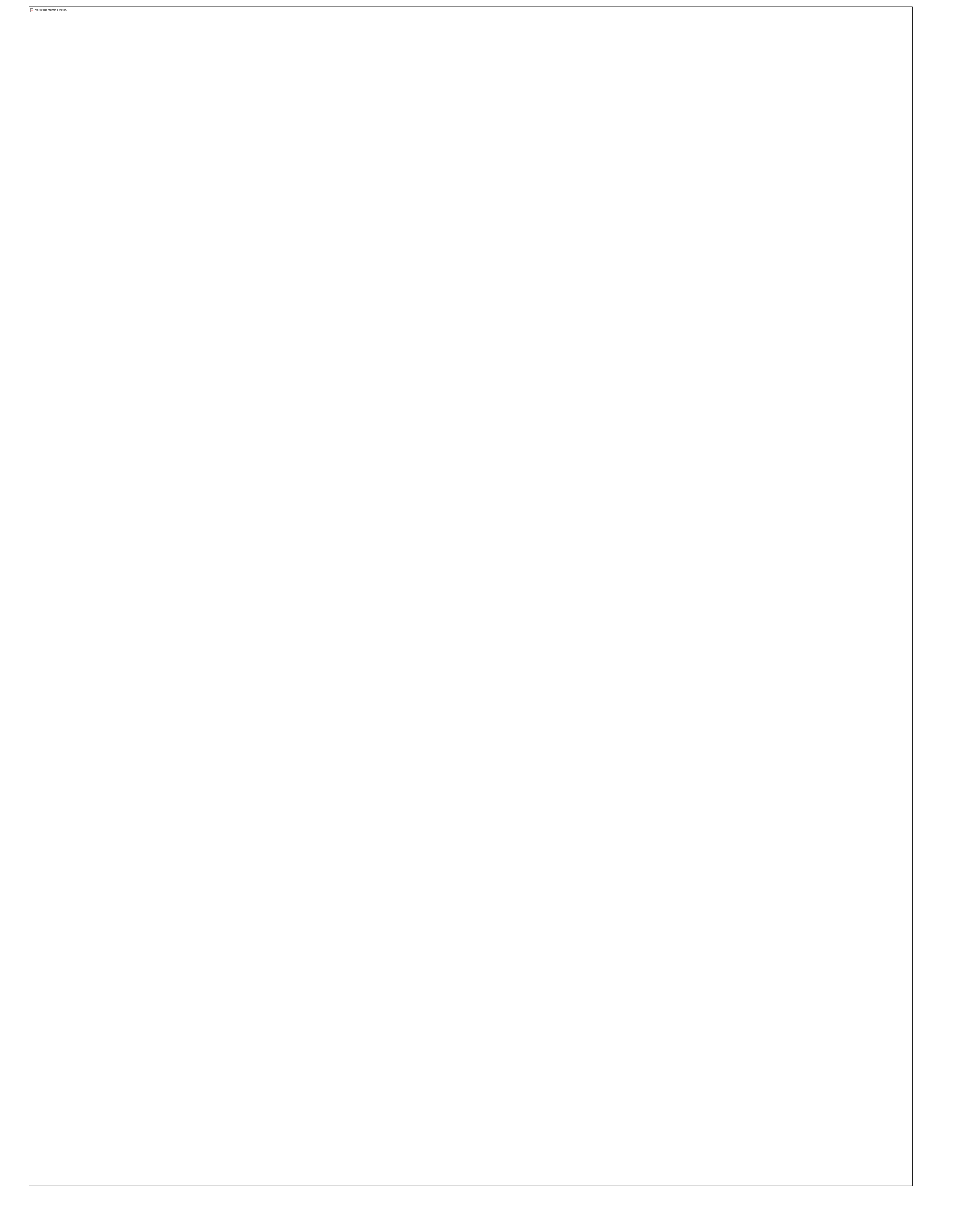

No se puede mostrar la imagen.

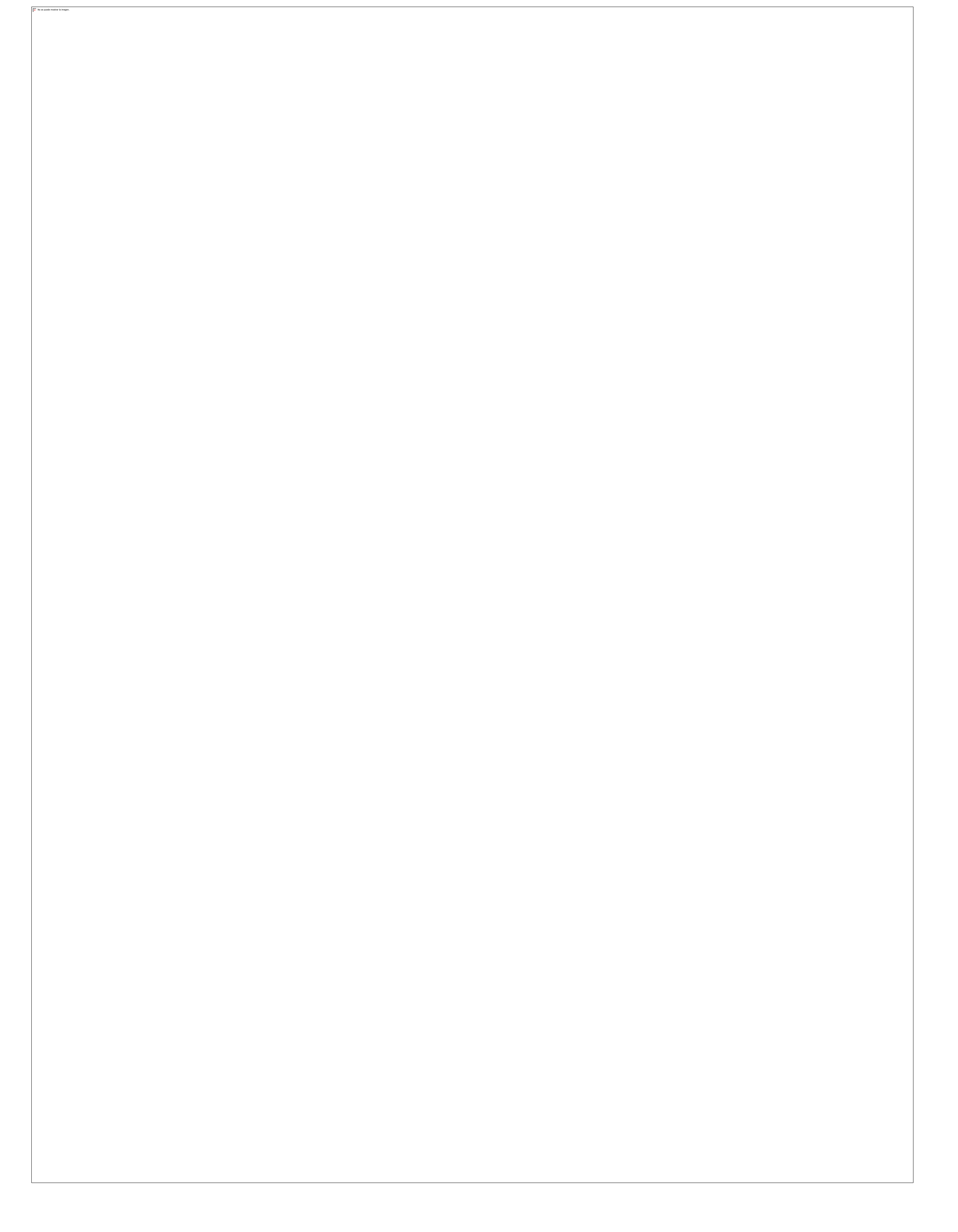

No se puede mostrar la imagen.

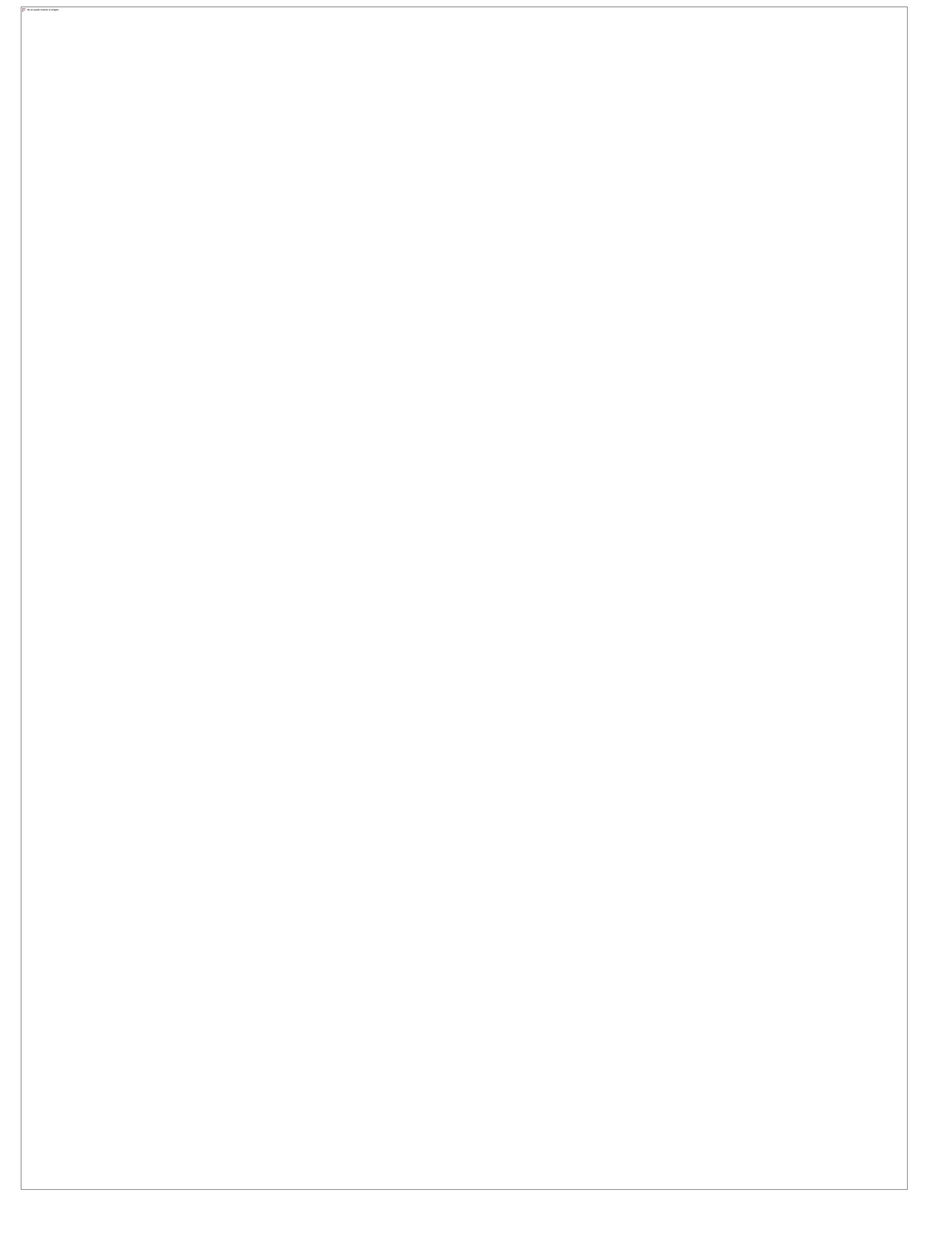

No se puede mostrar la imagen.

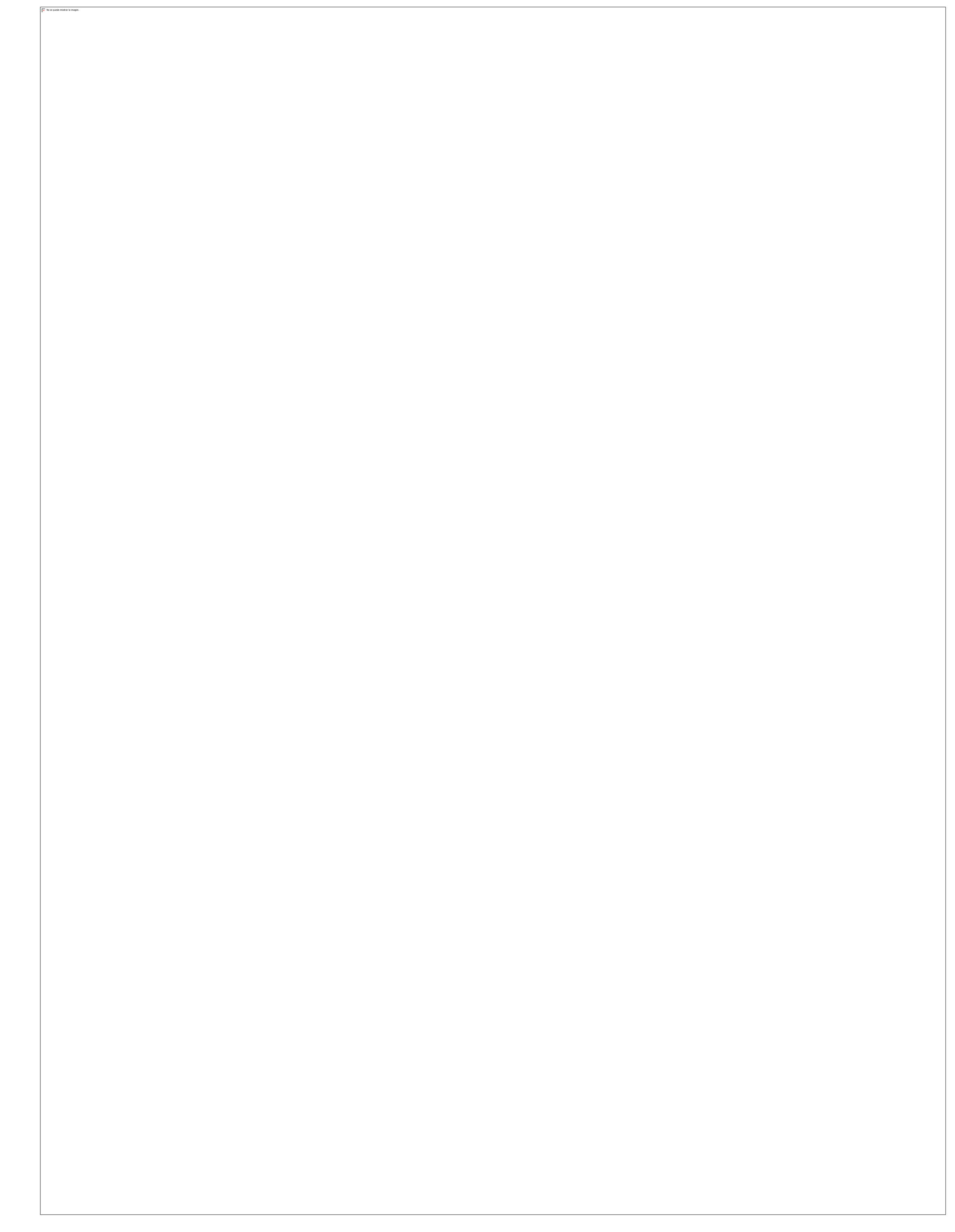
No se puede mostrar la imagen.

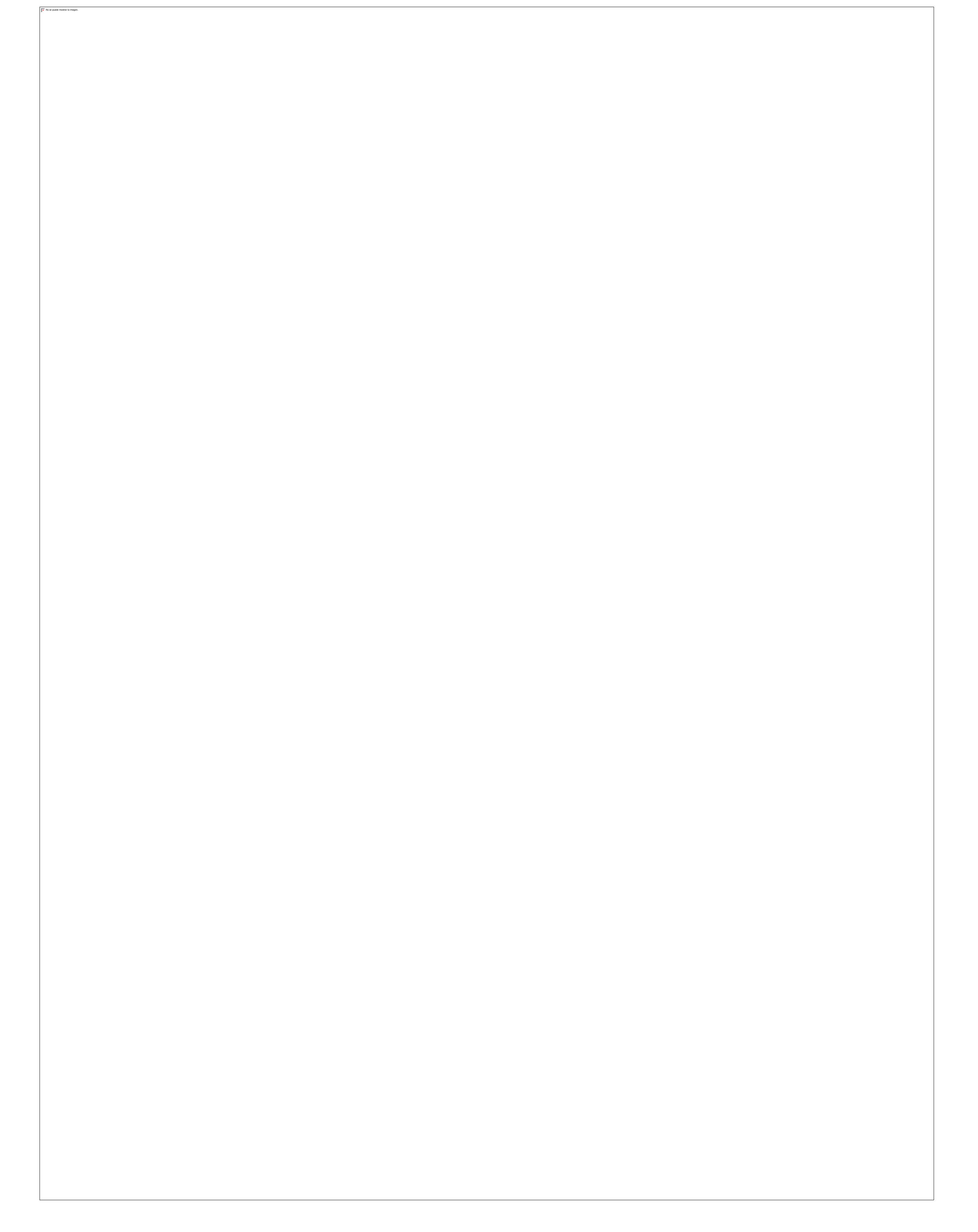

No se puede mostrar la imagen.

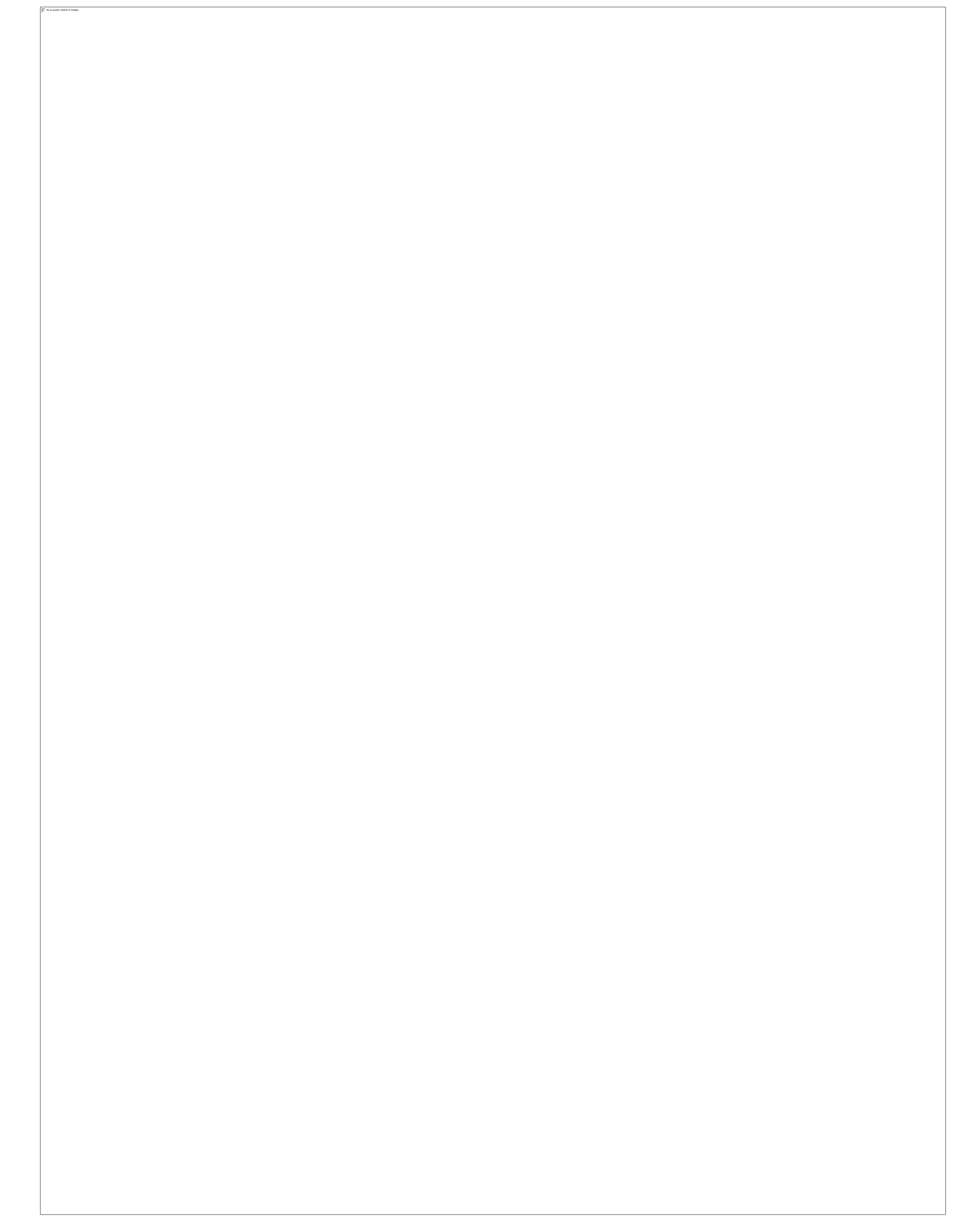

No se puede mostrar la imagen.

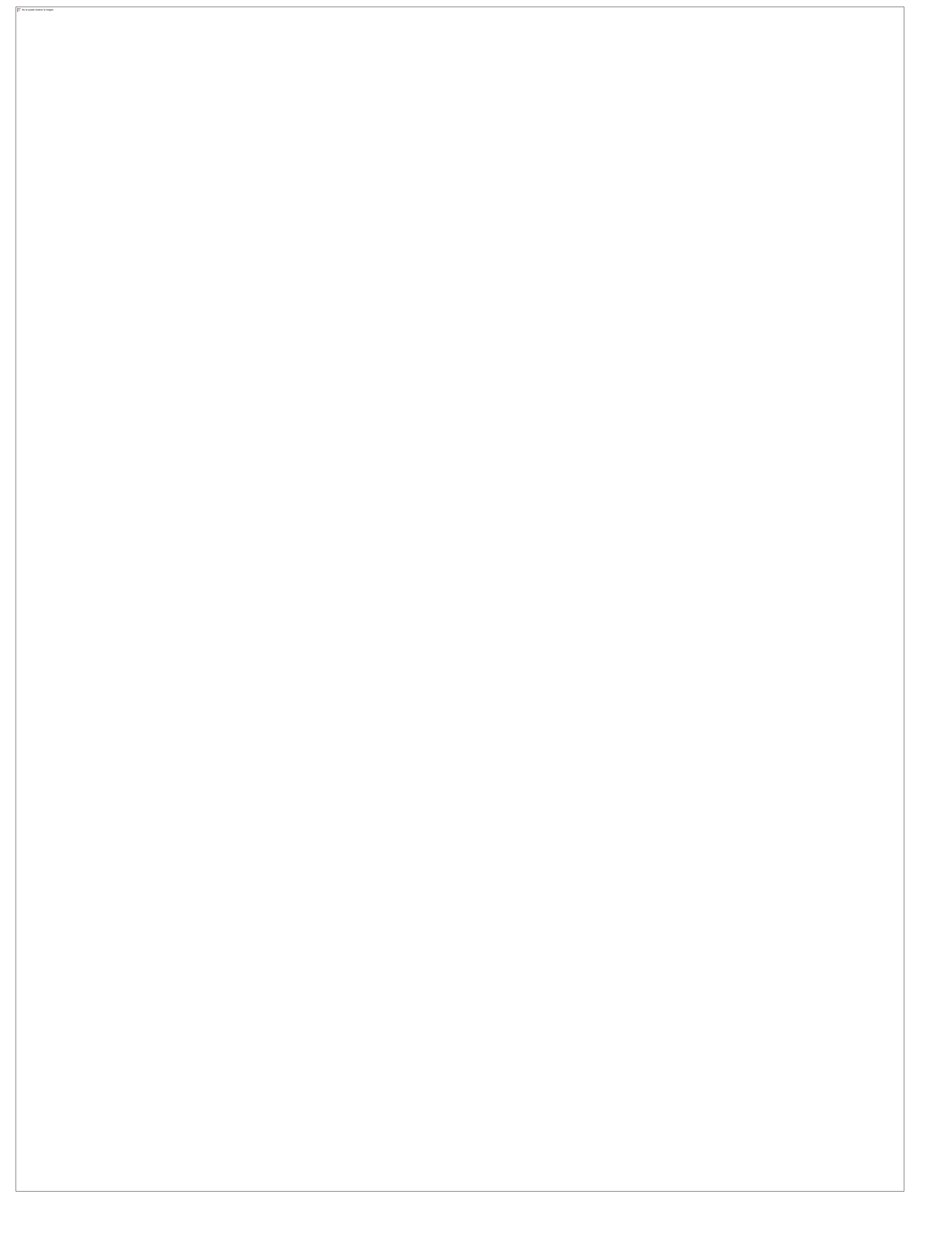

No se puede mostrar la imagen.

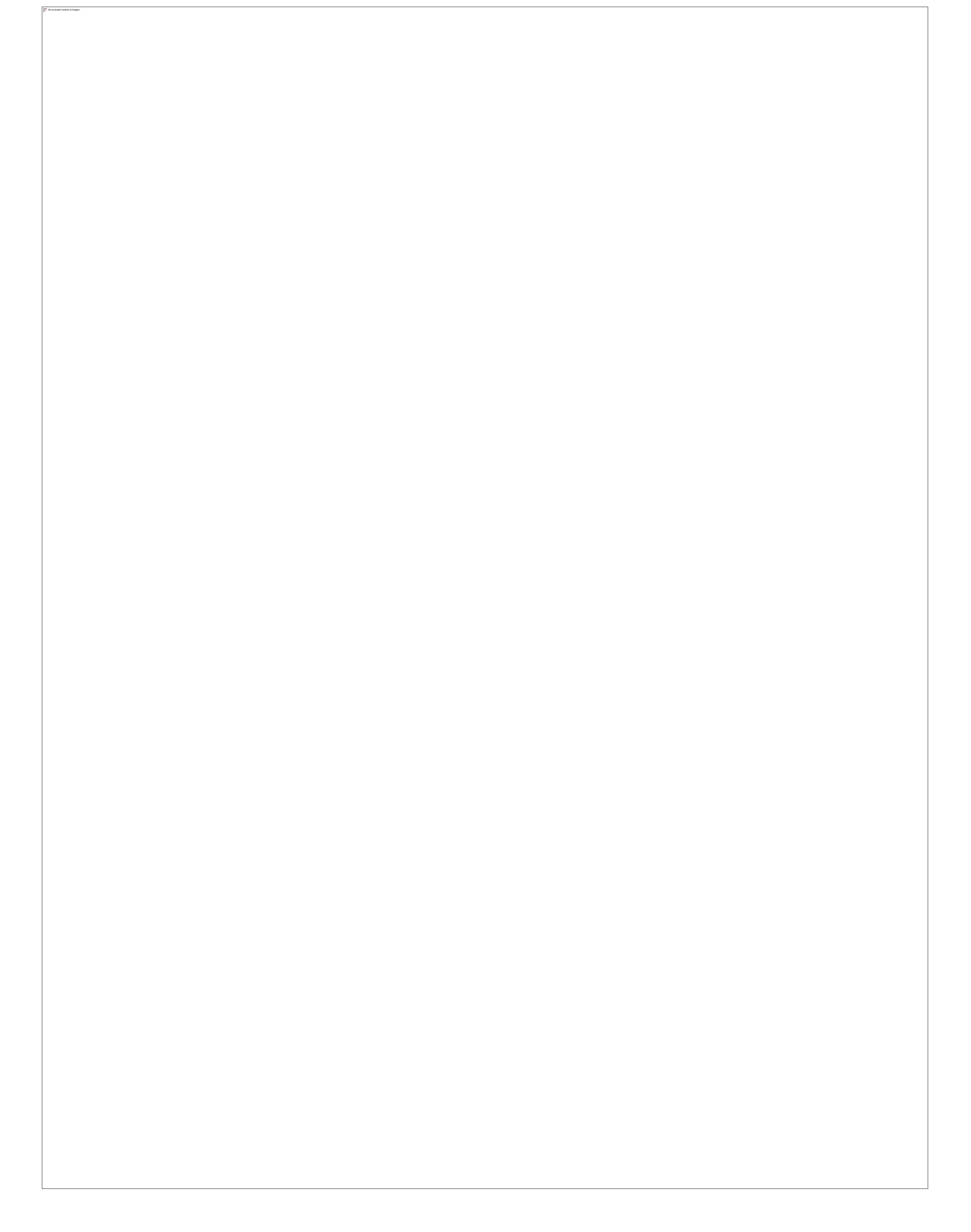

No se puede mostrar la imagen.

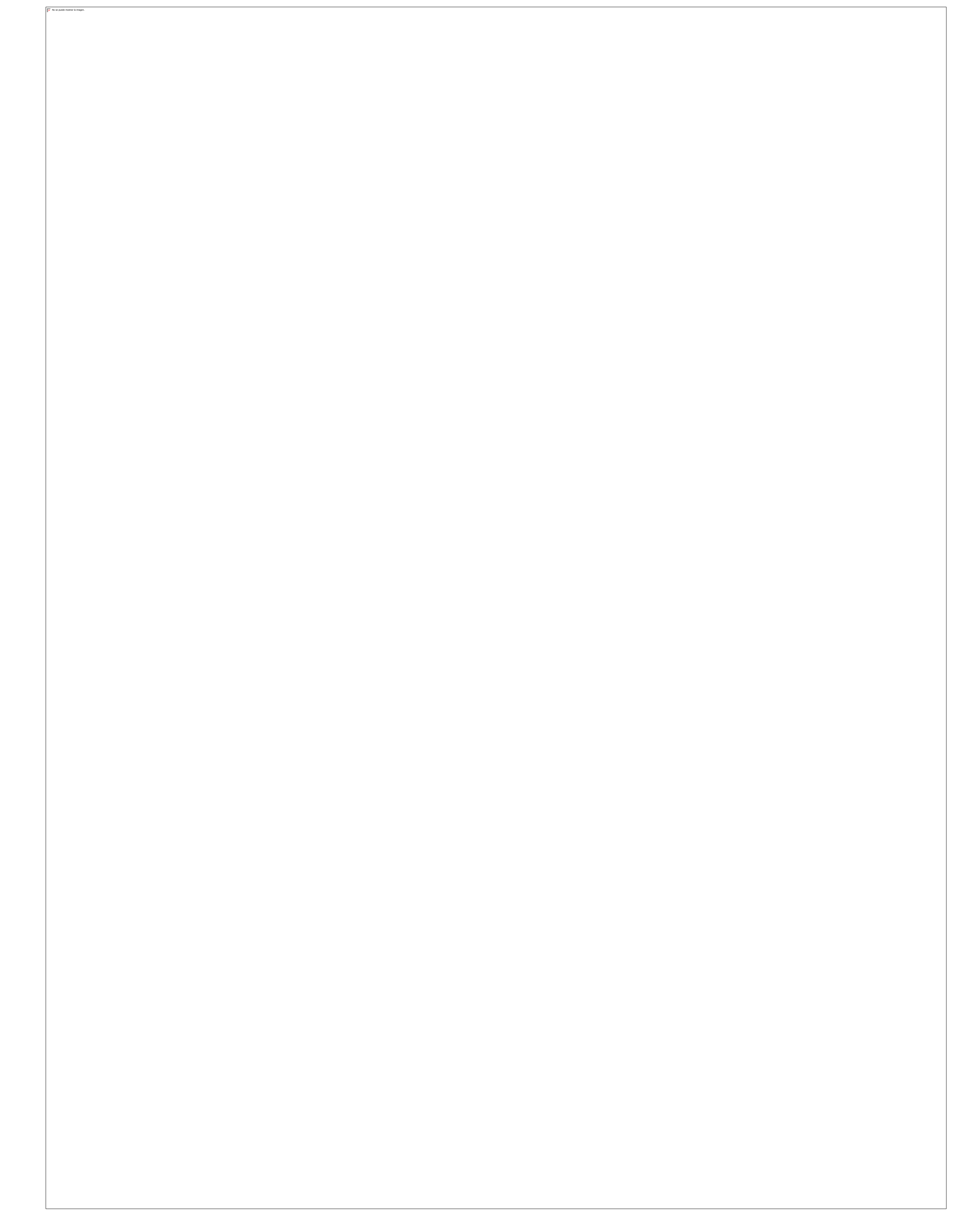

No se puede mostrar la imagen.

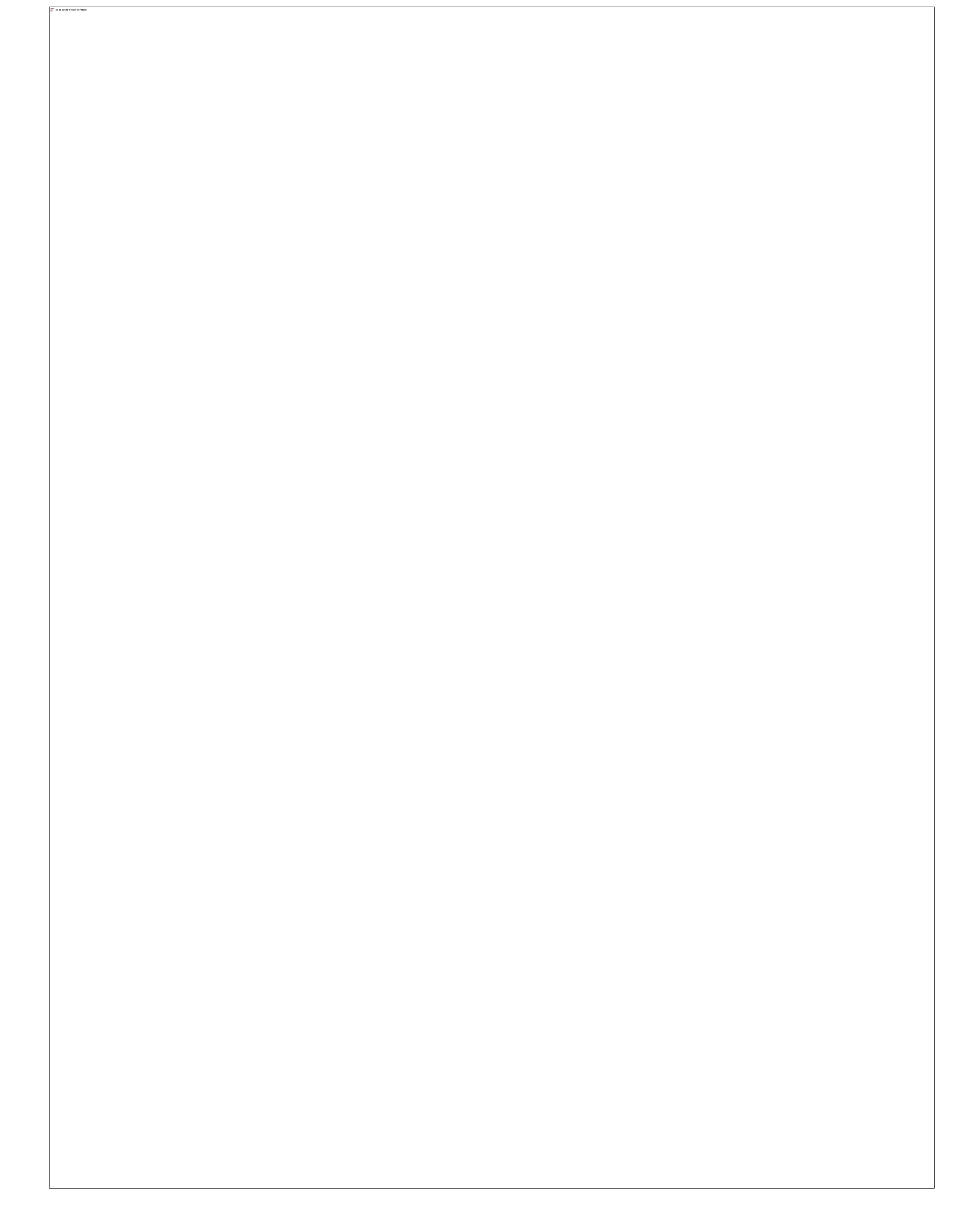

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

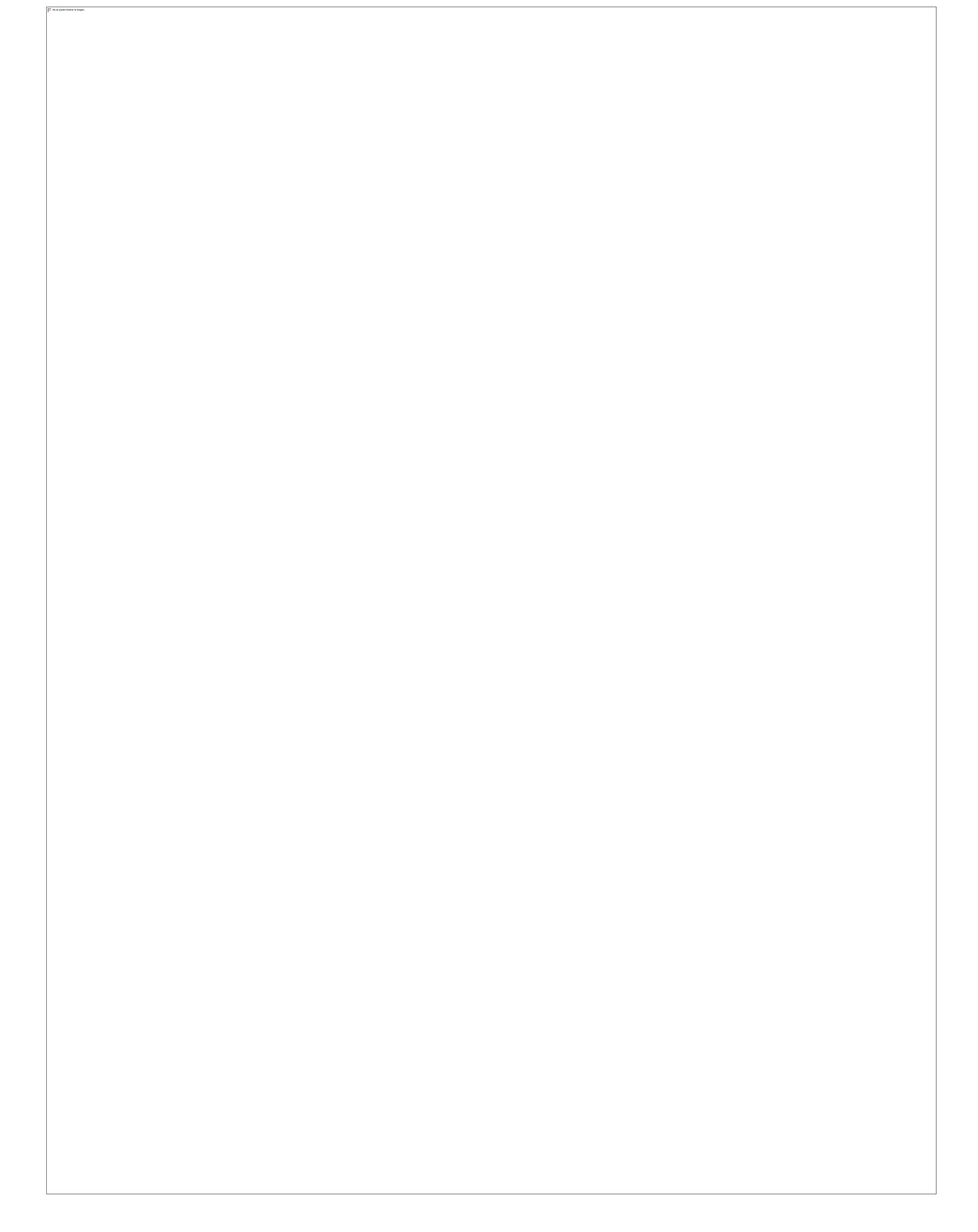

No se puede mostrar la imagen.

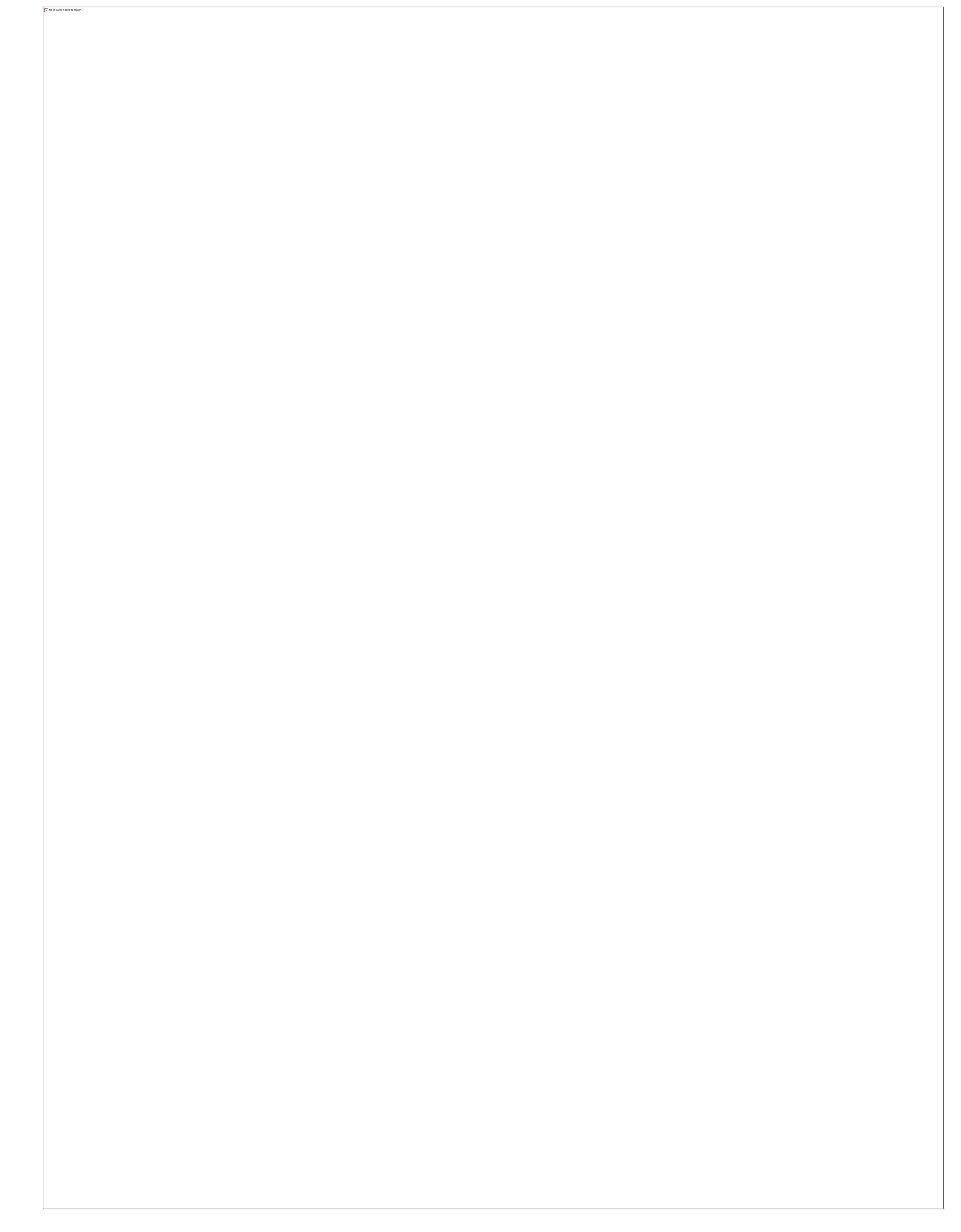

No se puede mostrar la imagen.

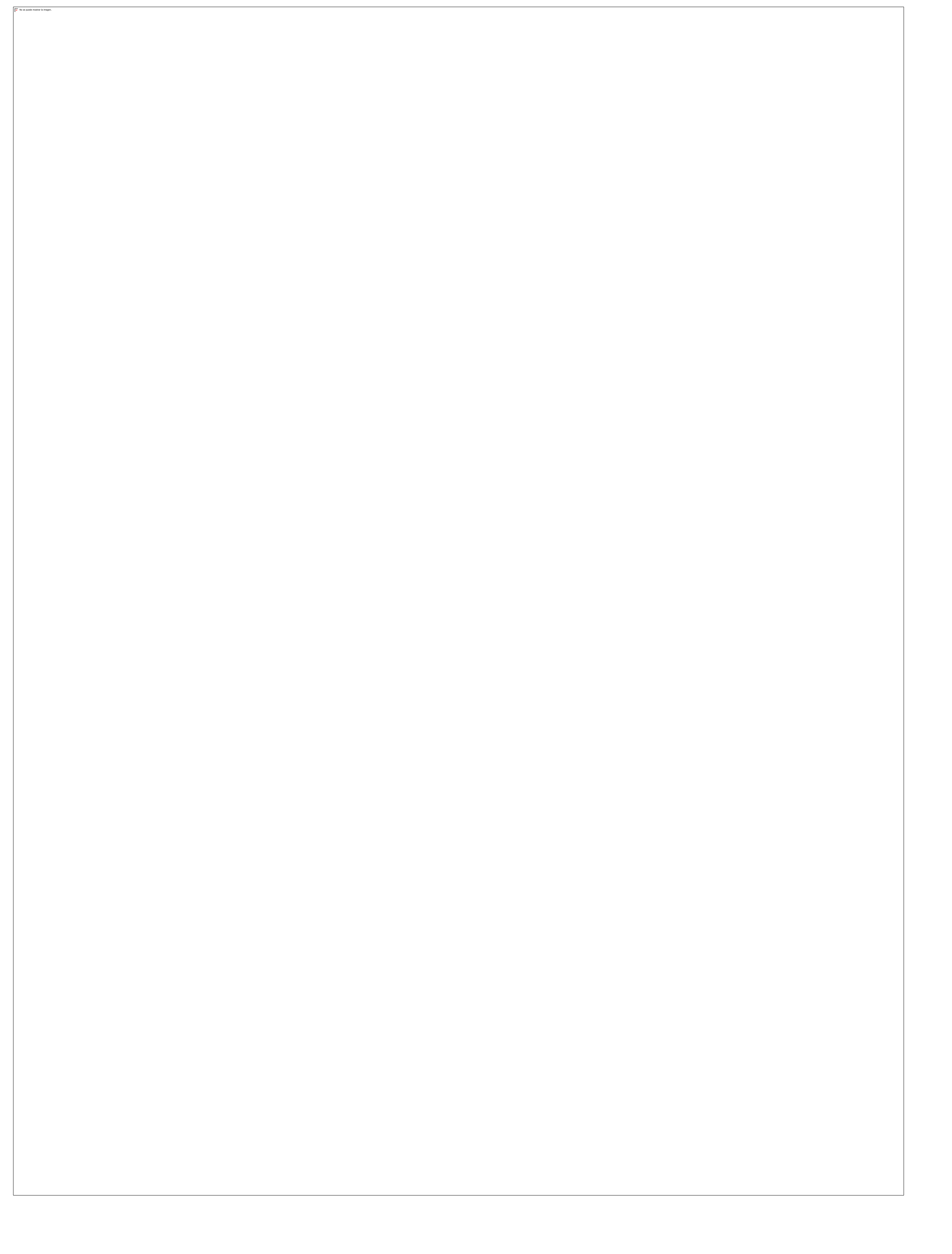

No se puede mostrar la imagen.

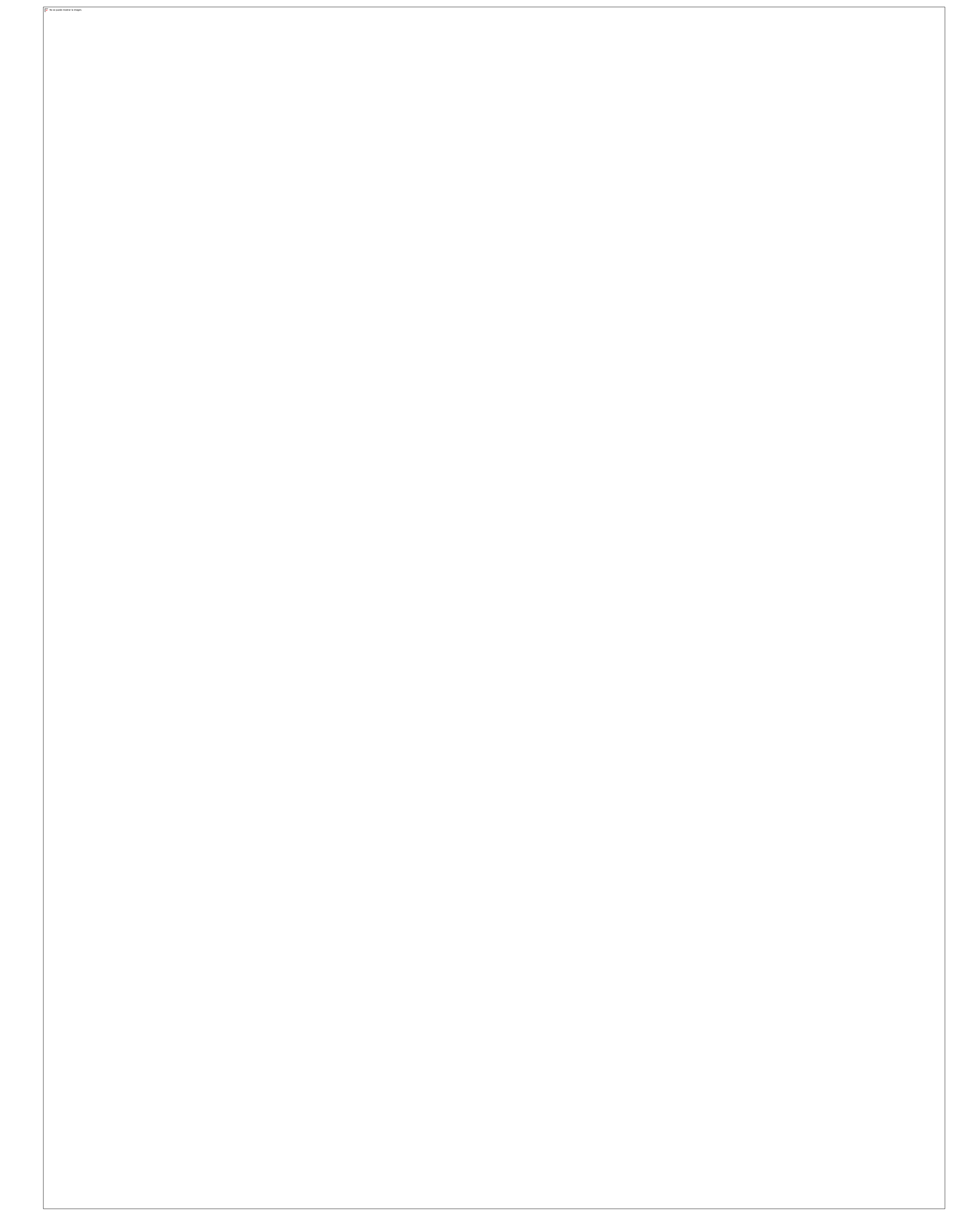

No se puede mostrar la imagen.

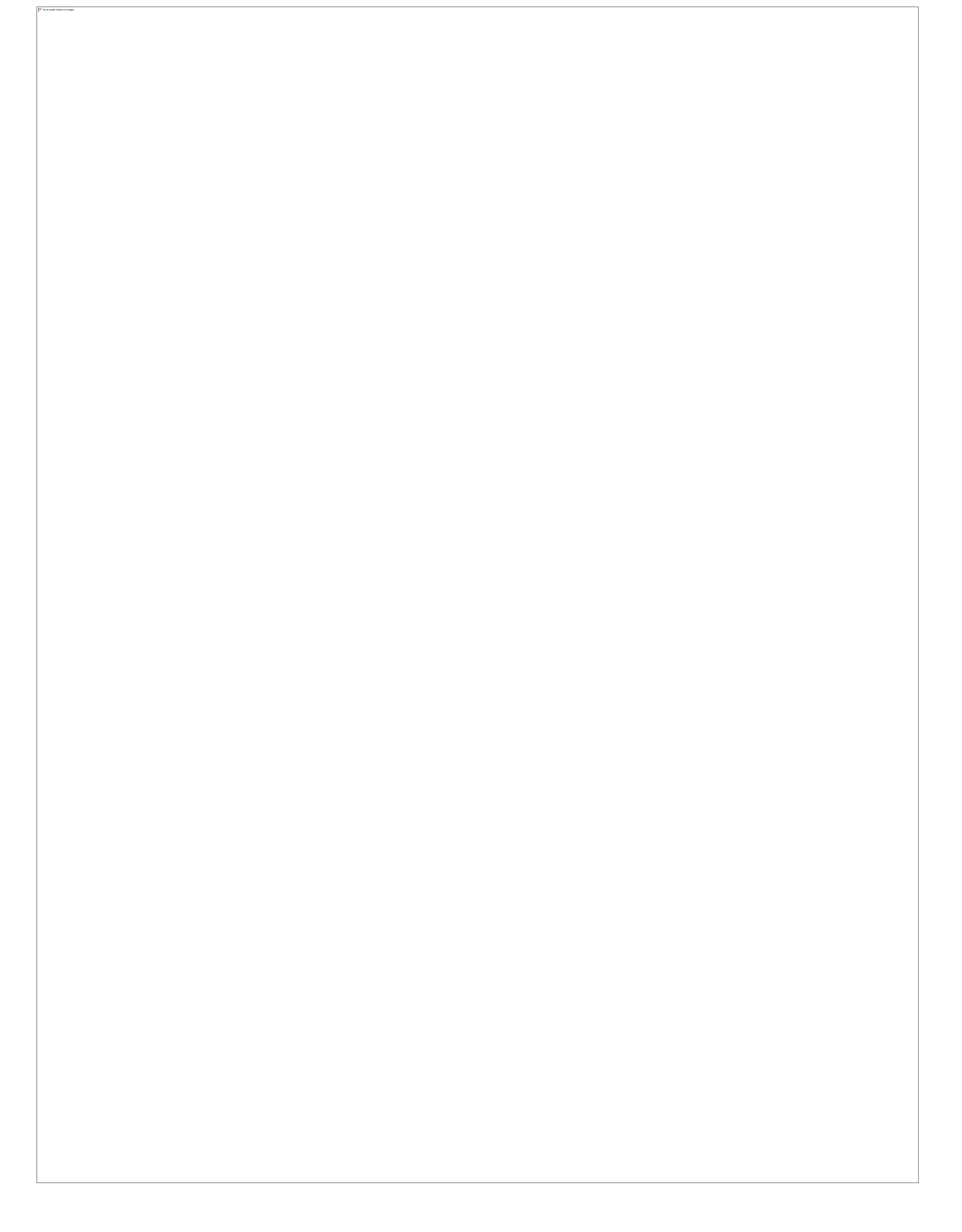
No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

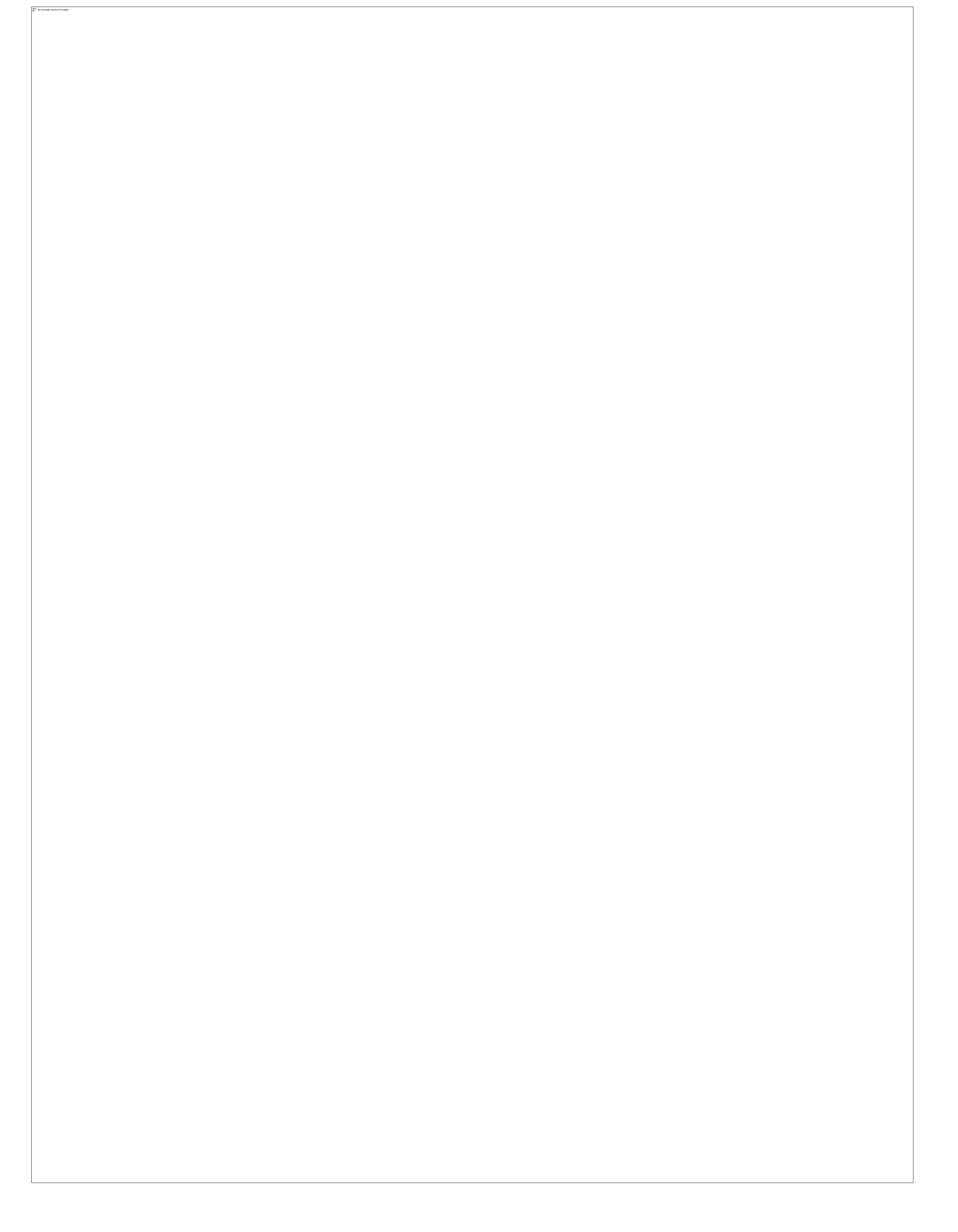

No se puede mostrar la imagen.

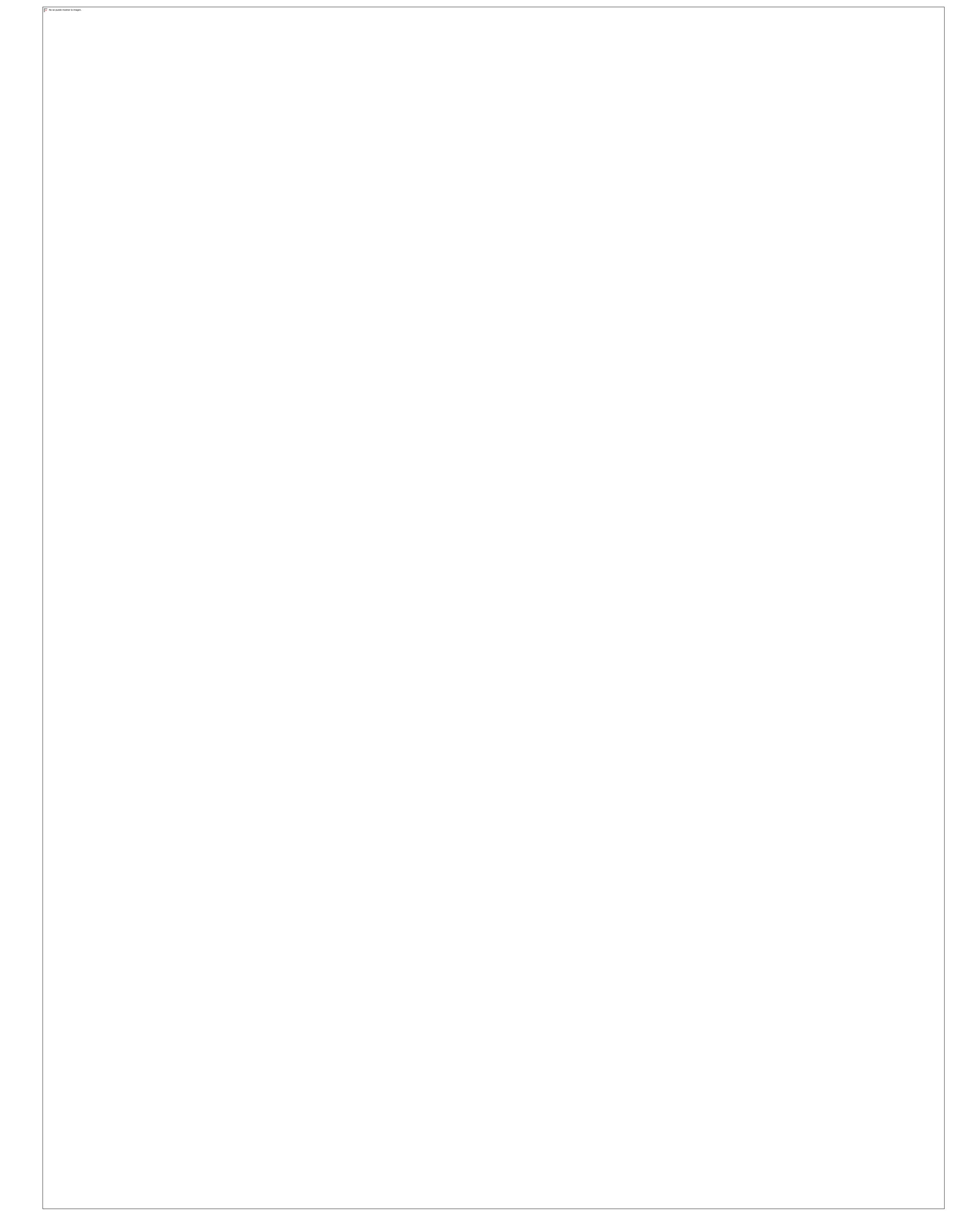

No se puede mostrar la imagen.

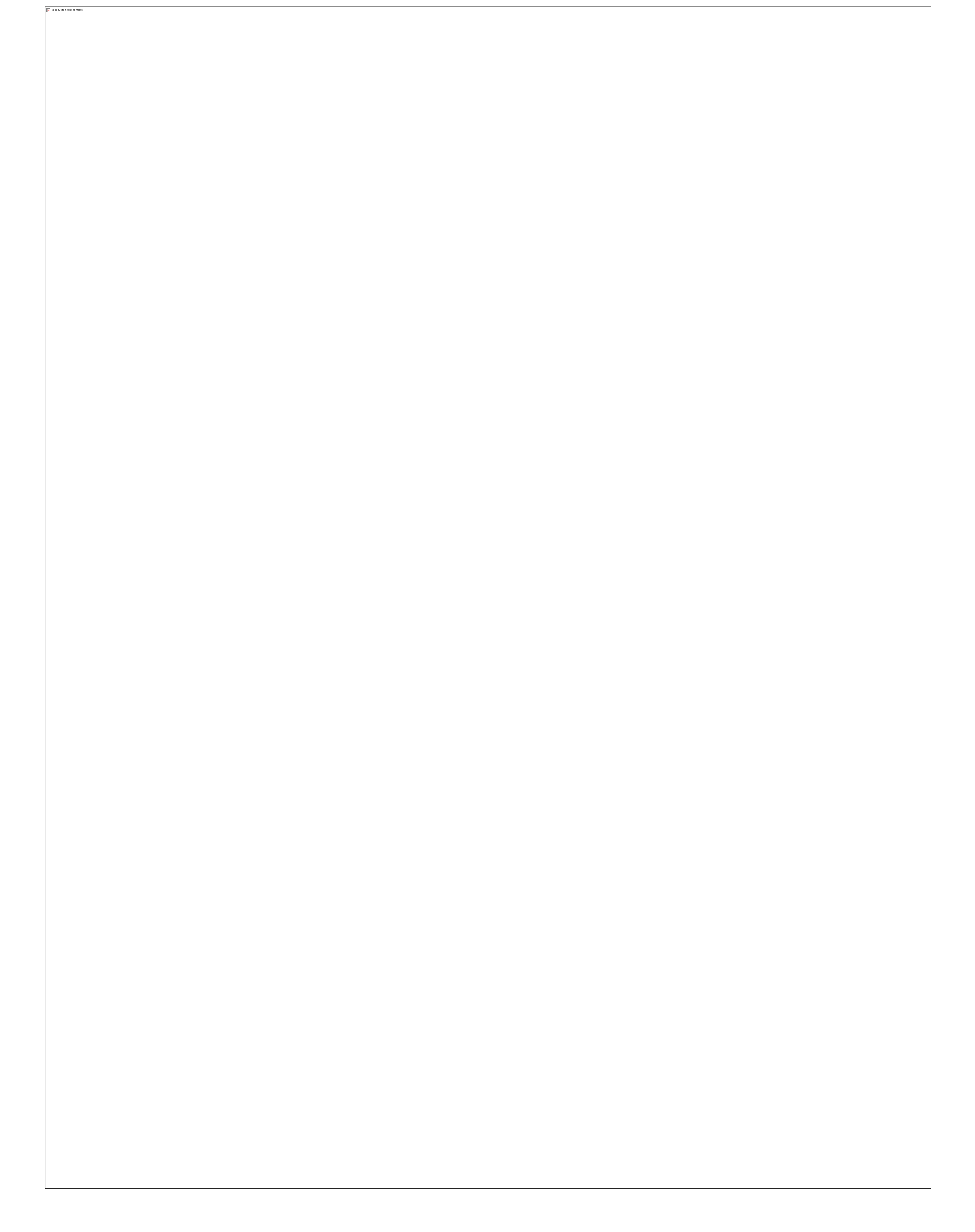

No se puede mostrar la imagen.

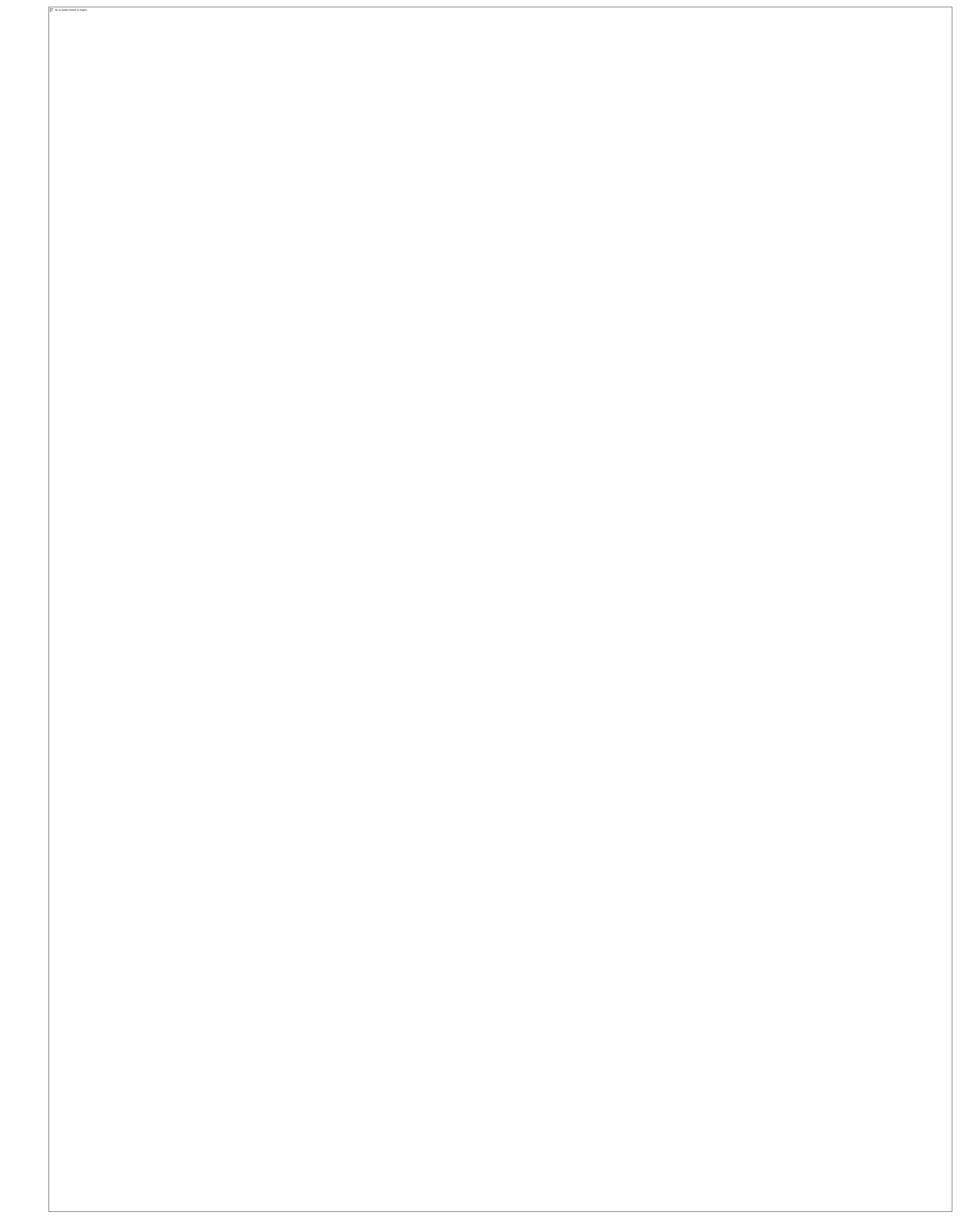

No se puede mostrar la imagen.

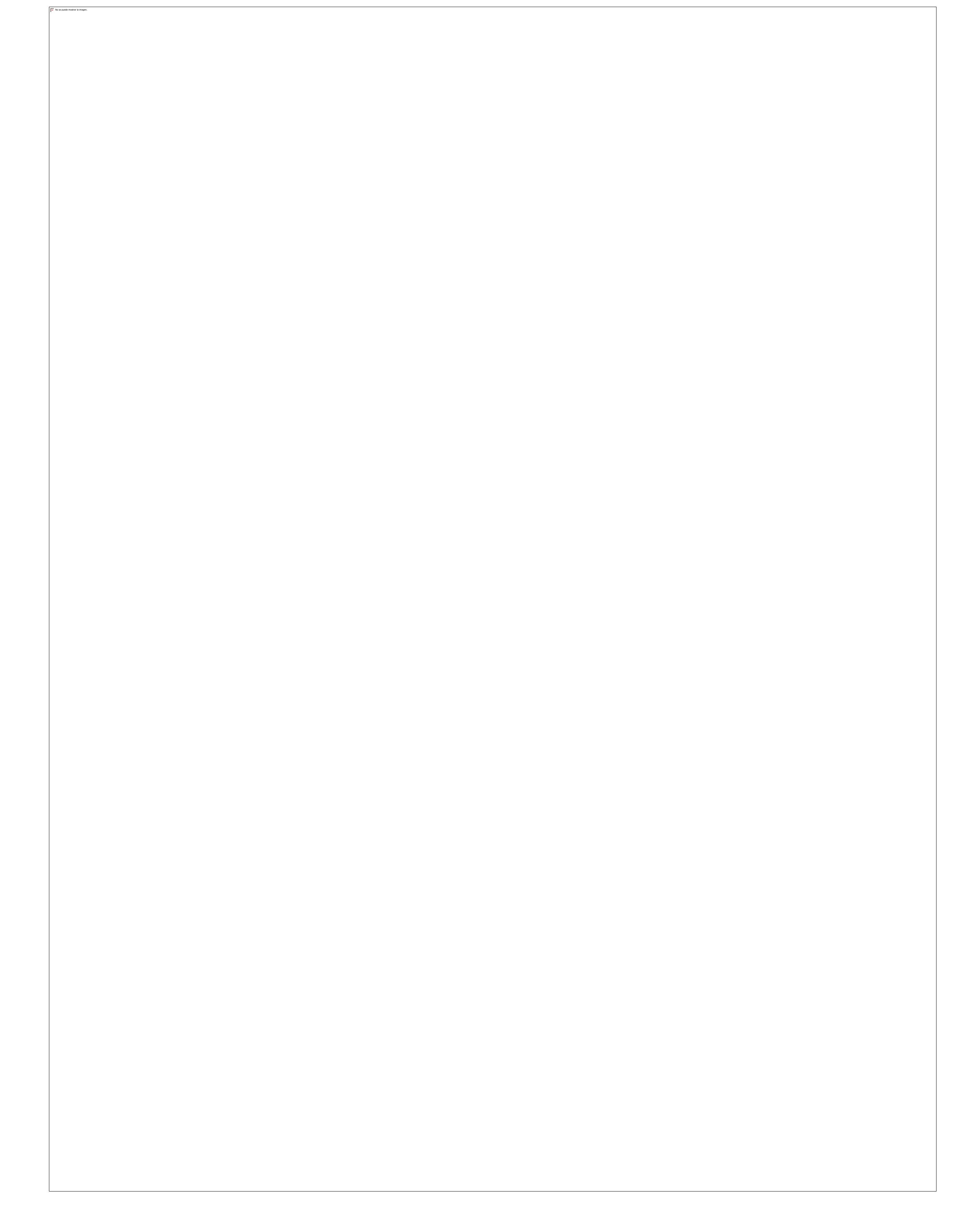
No se puede mostrar la imagen.

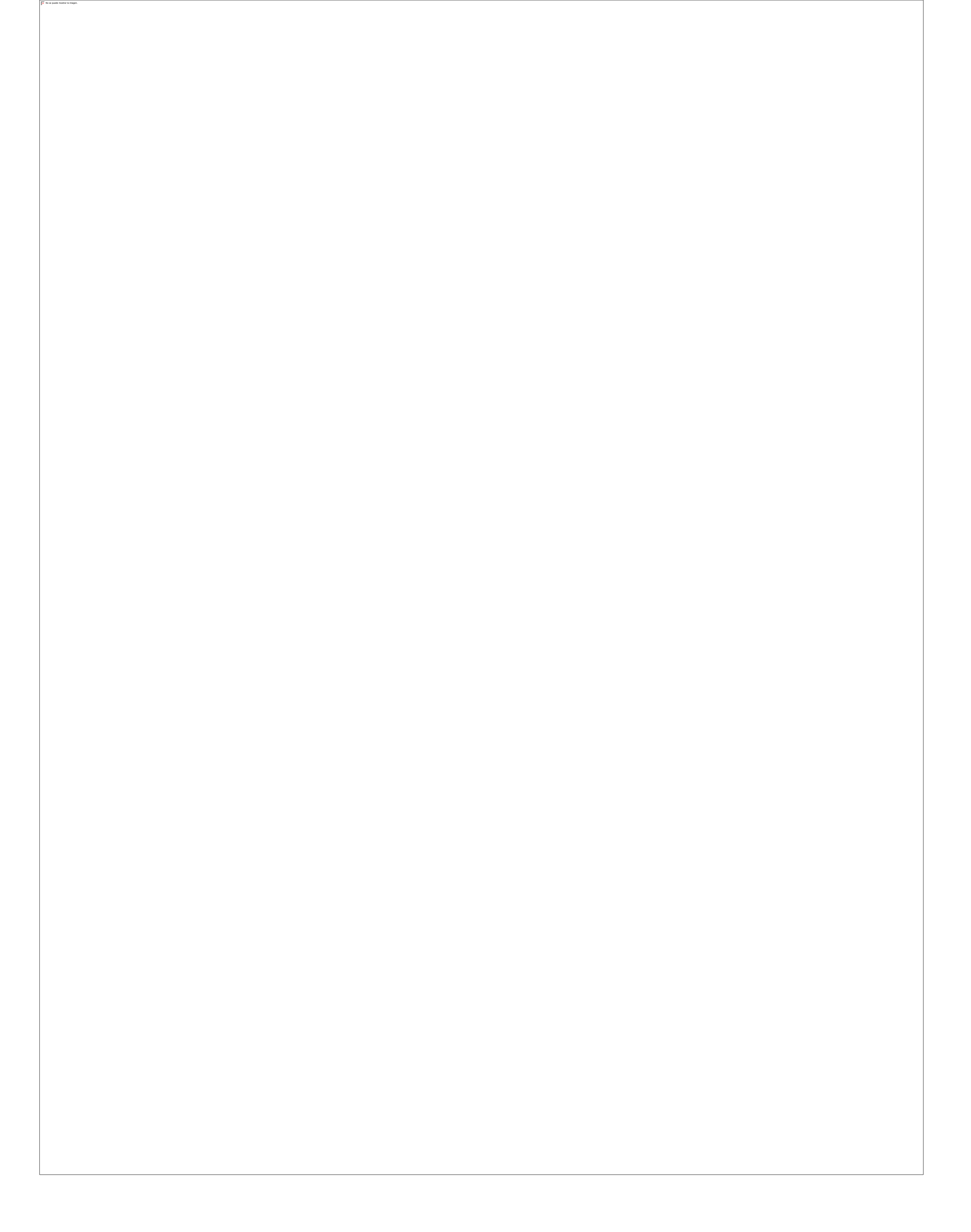

No se puede mostrar la imagen.

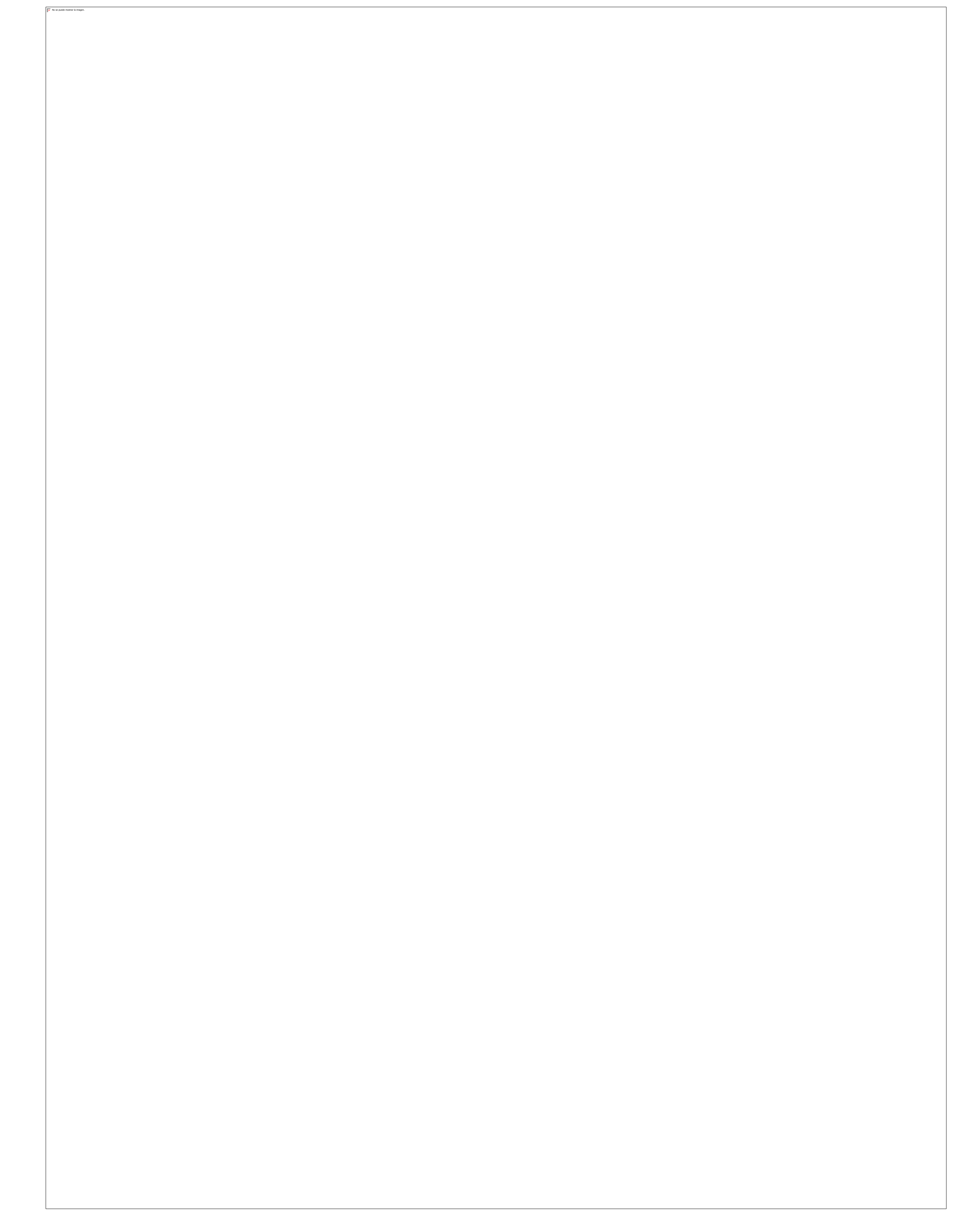

No se puede mostrar la imagen.

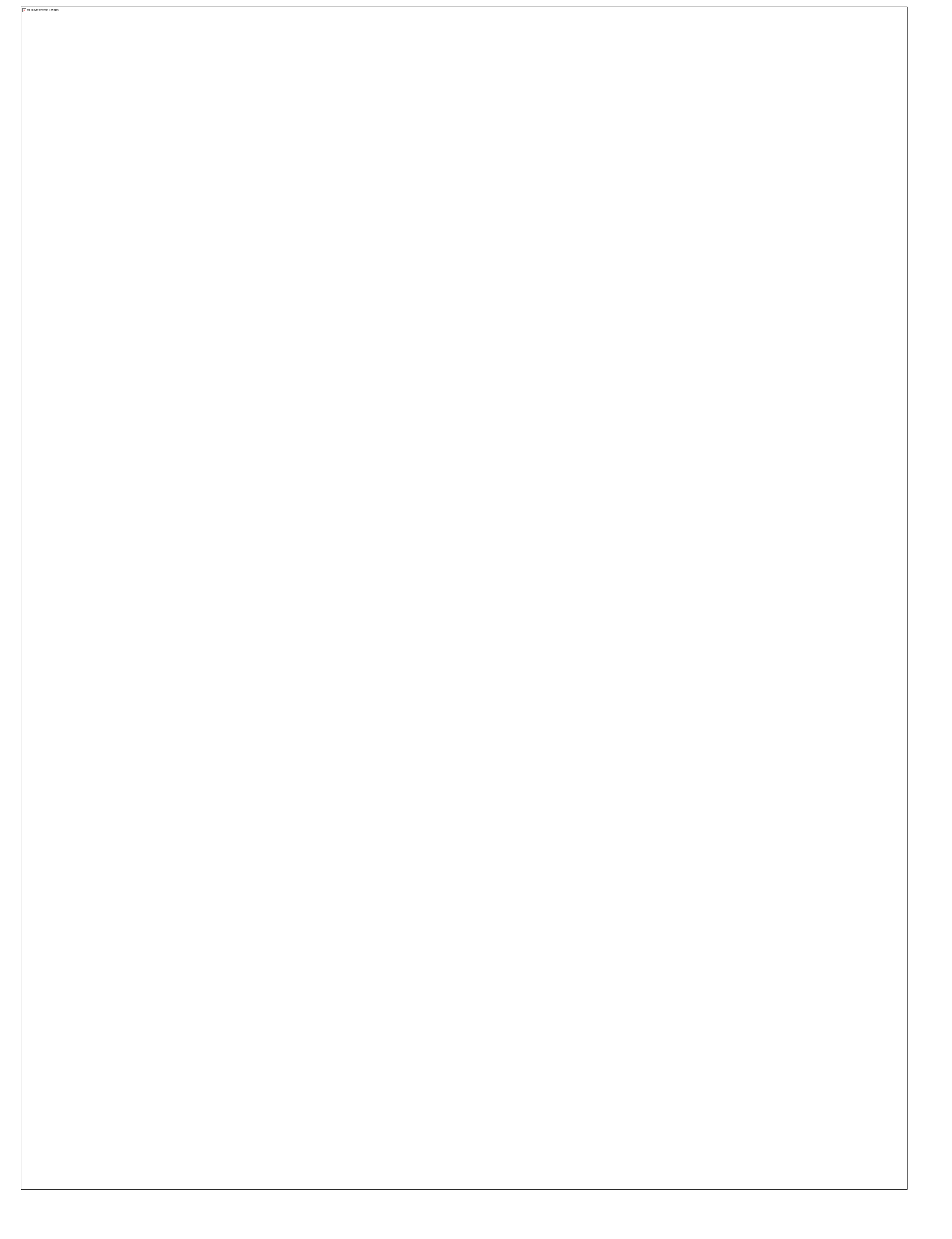

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

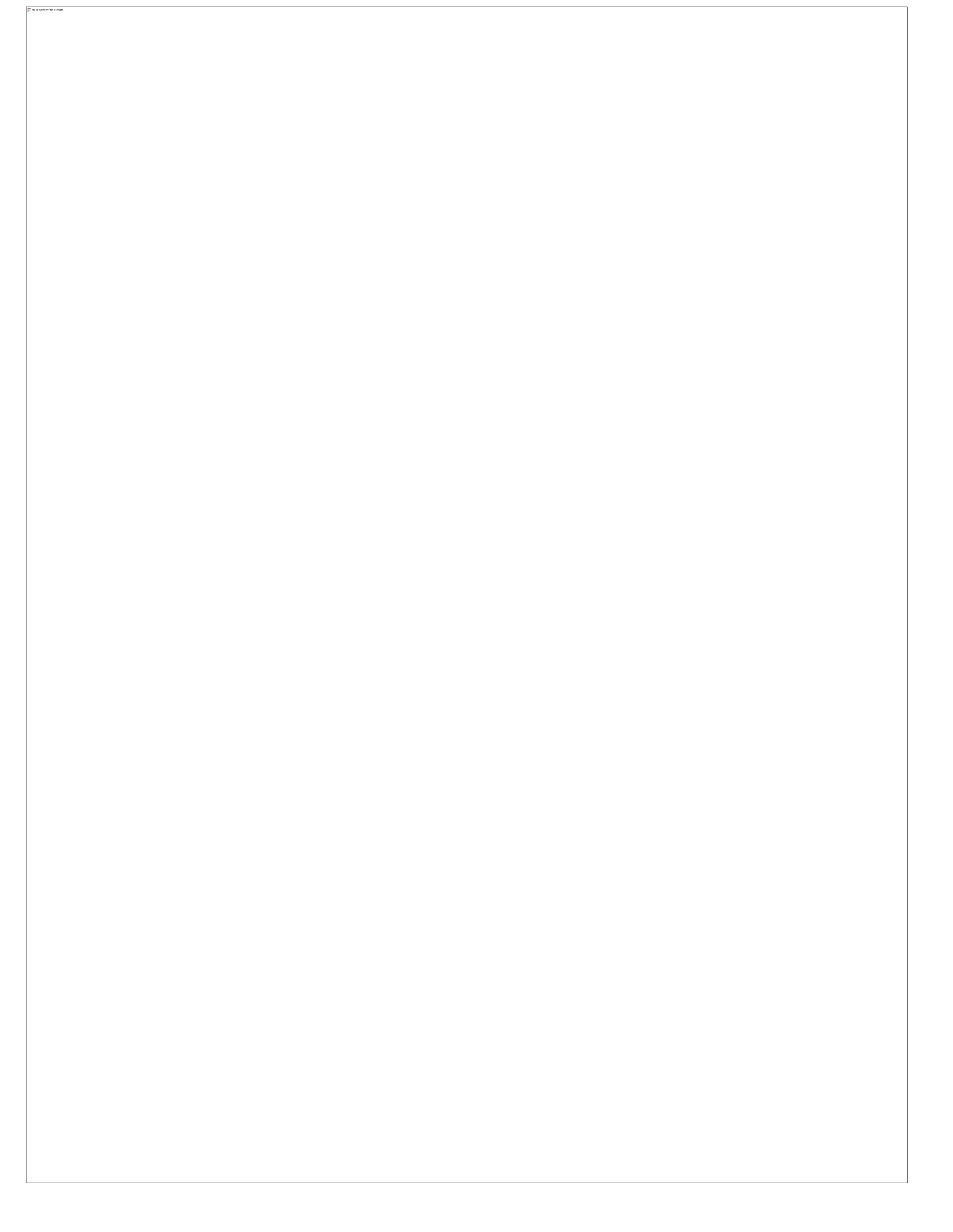

No se puede mostrar la imagen.

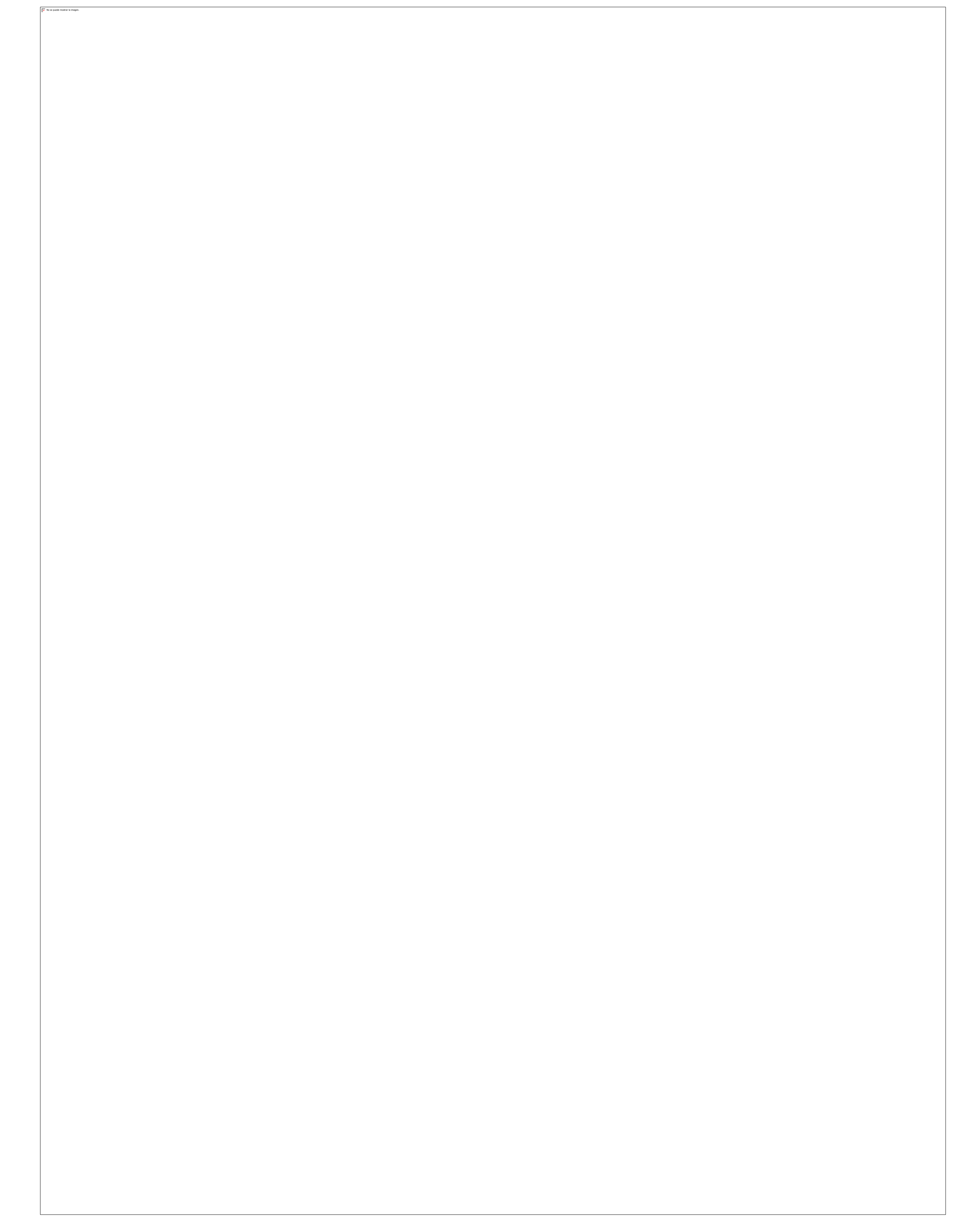

No se puede mostrar la imagen.

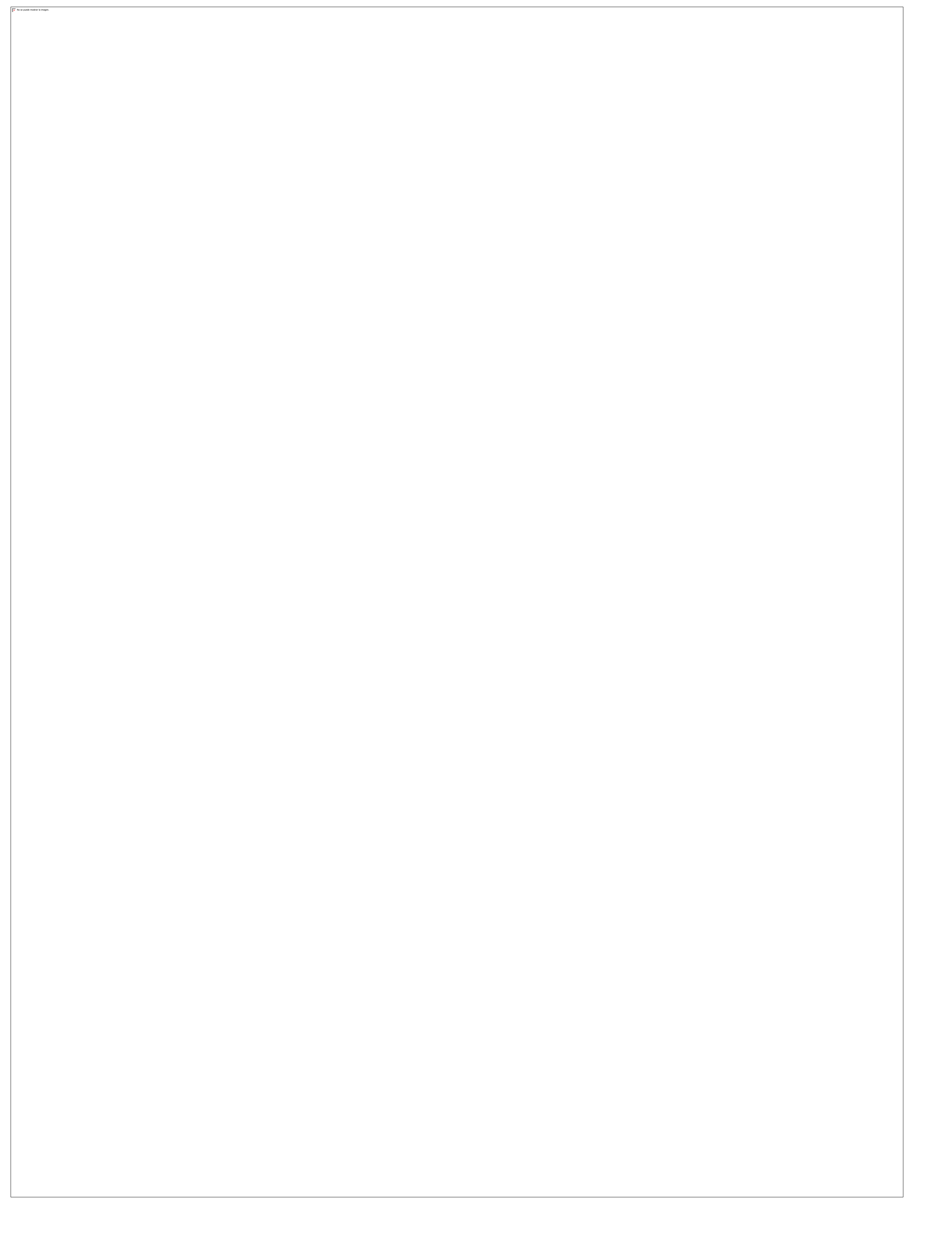

No se puede mostrar la imagen.

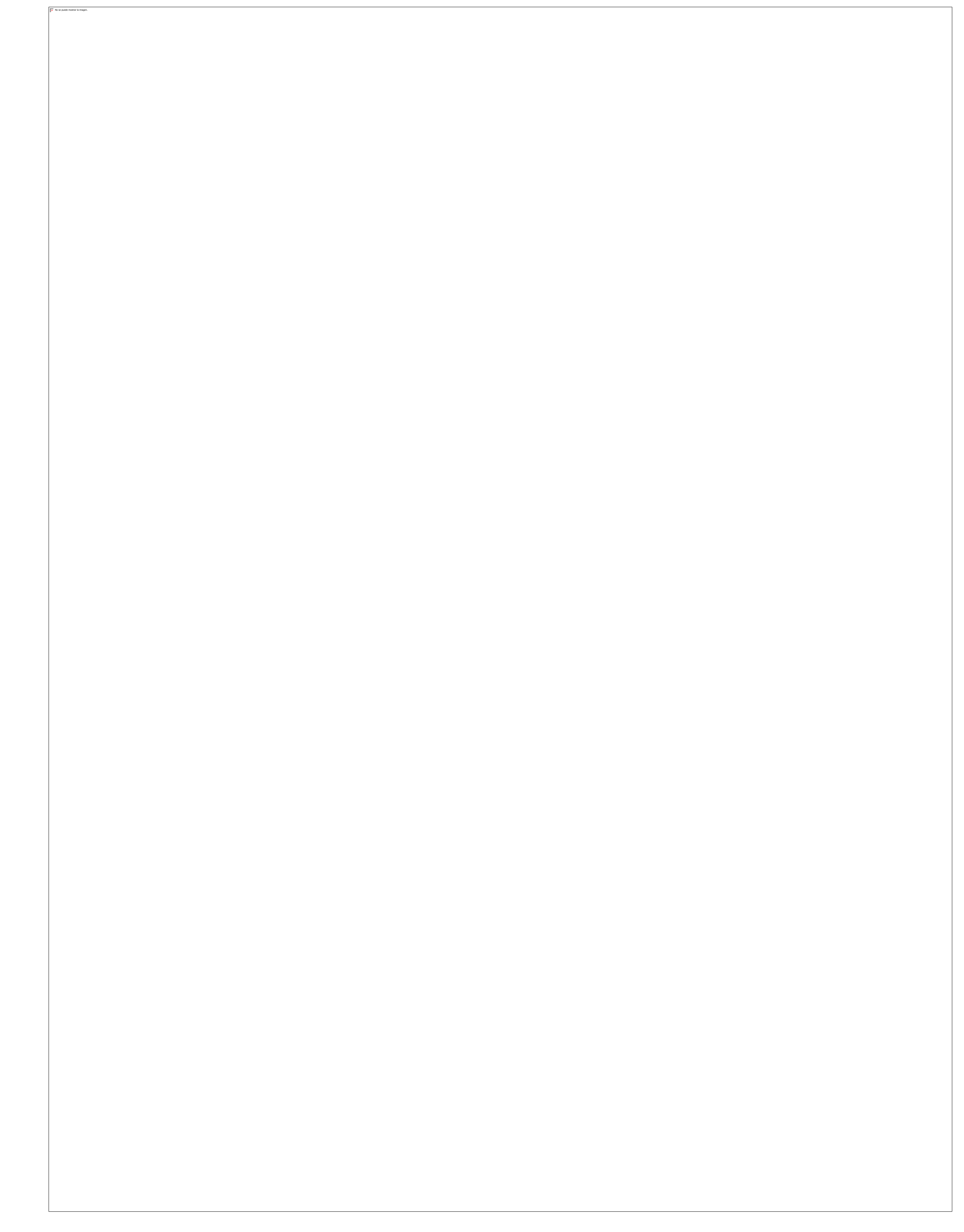

No se puede mostrar la imagen.

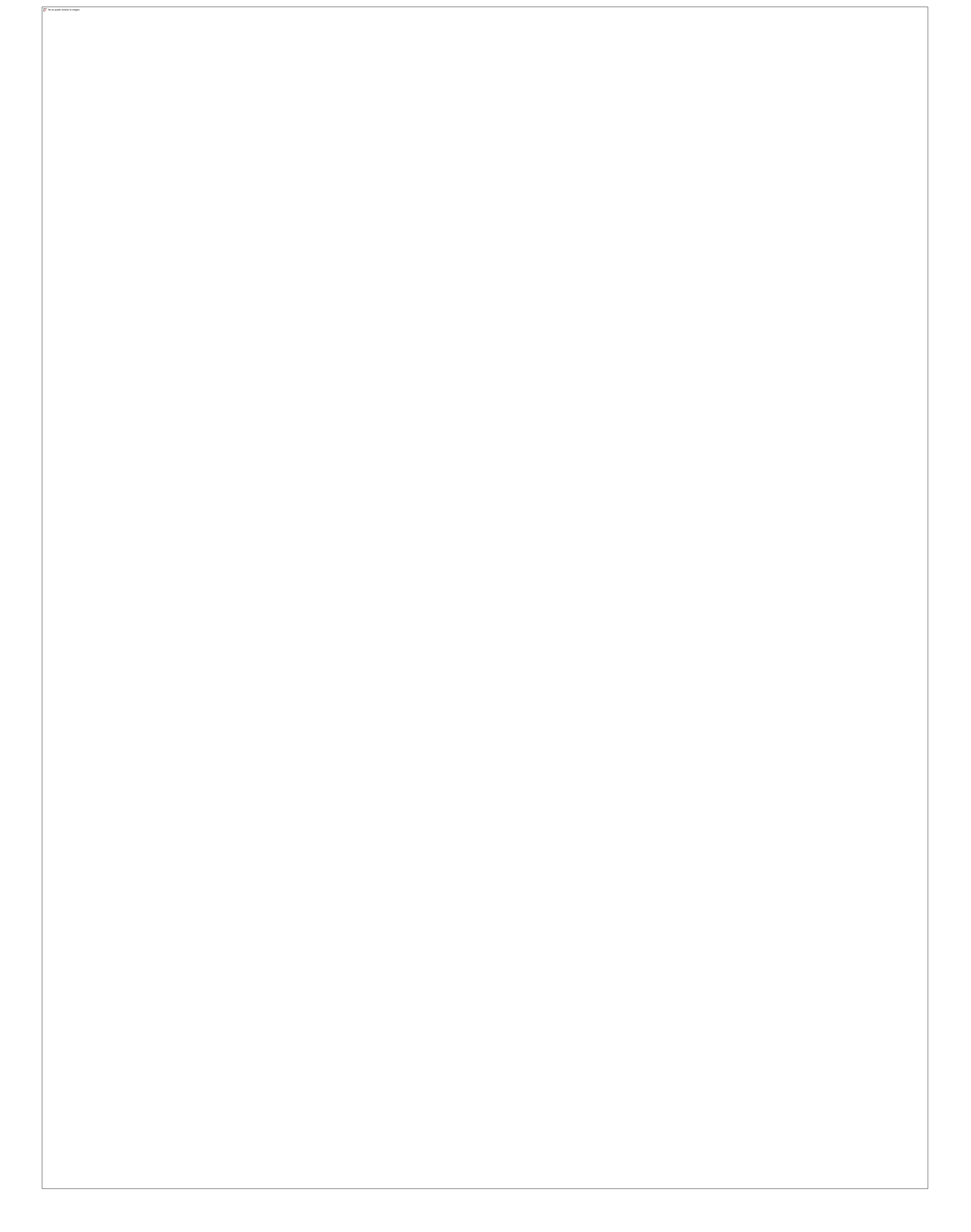
No se puede mostrar la imagen.

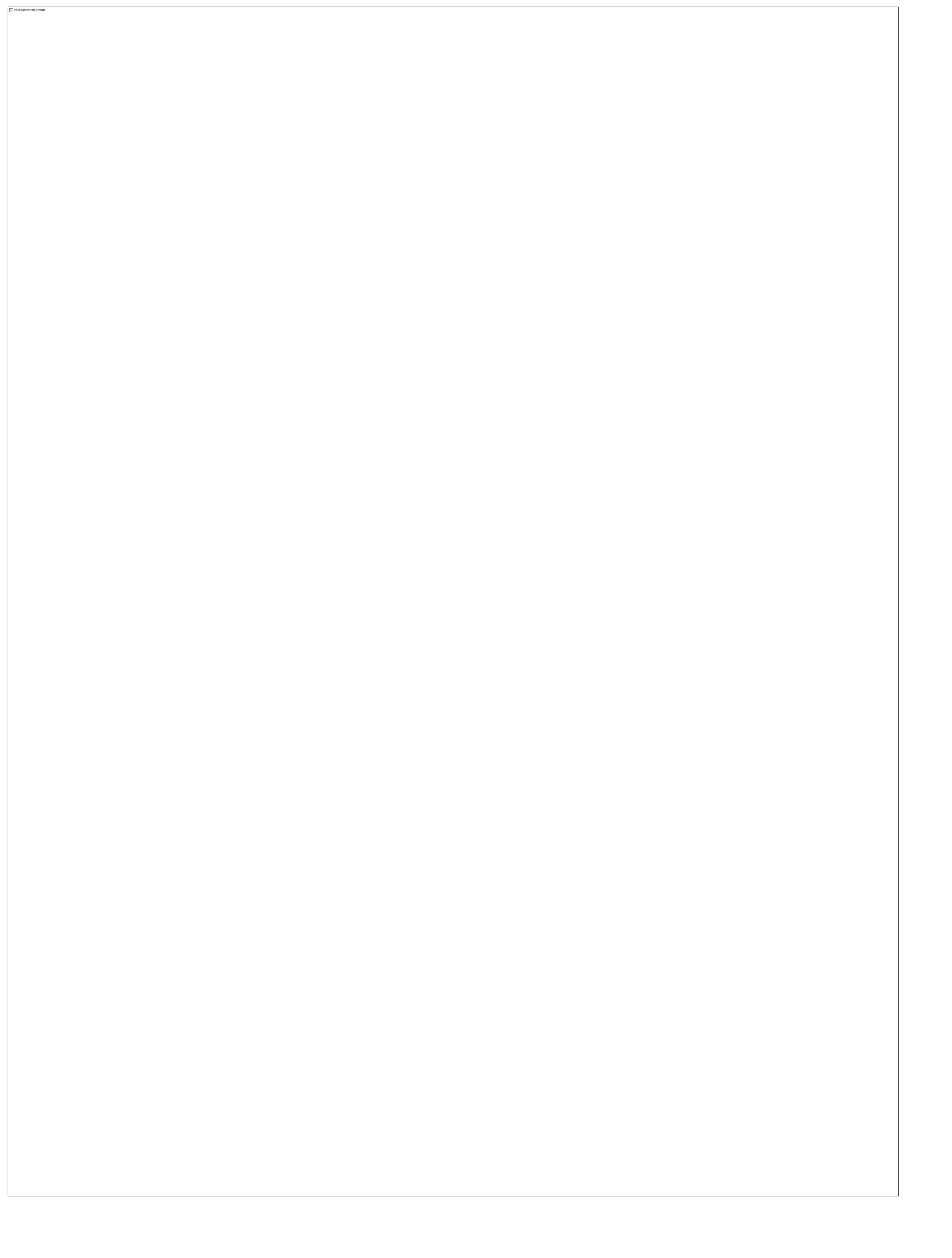

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

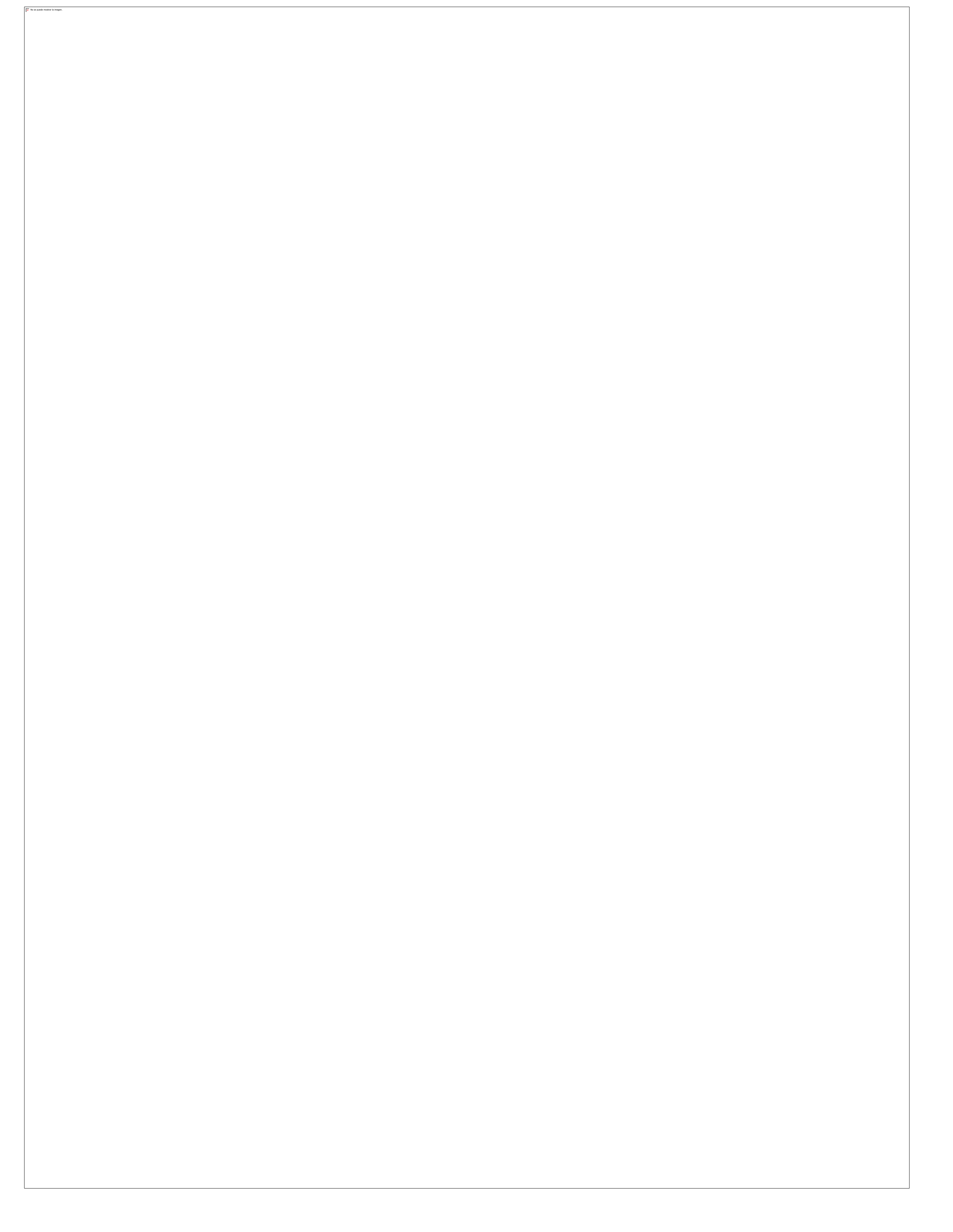

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

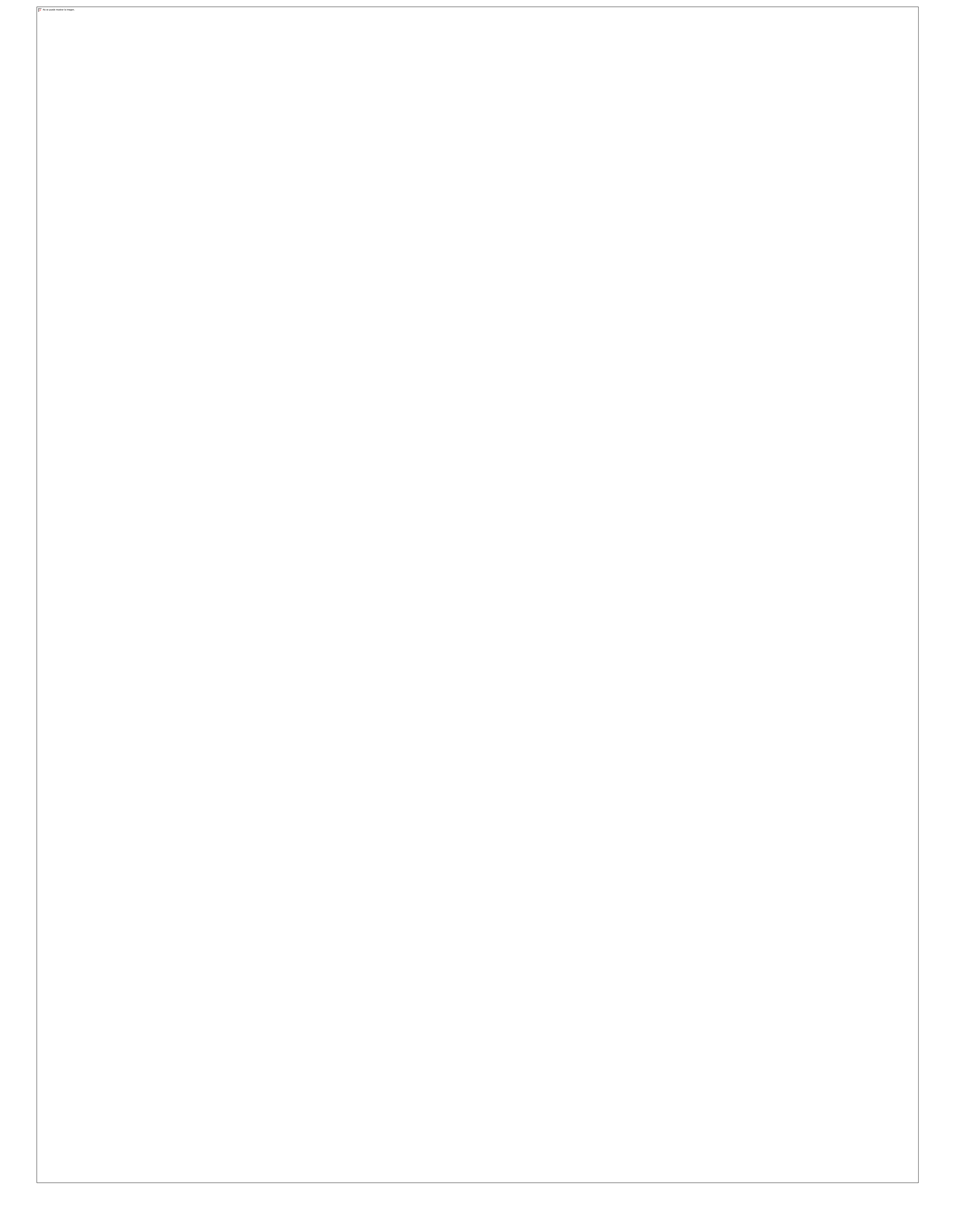

No se puede mostrar la imagen.

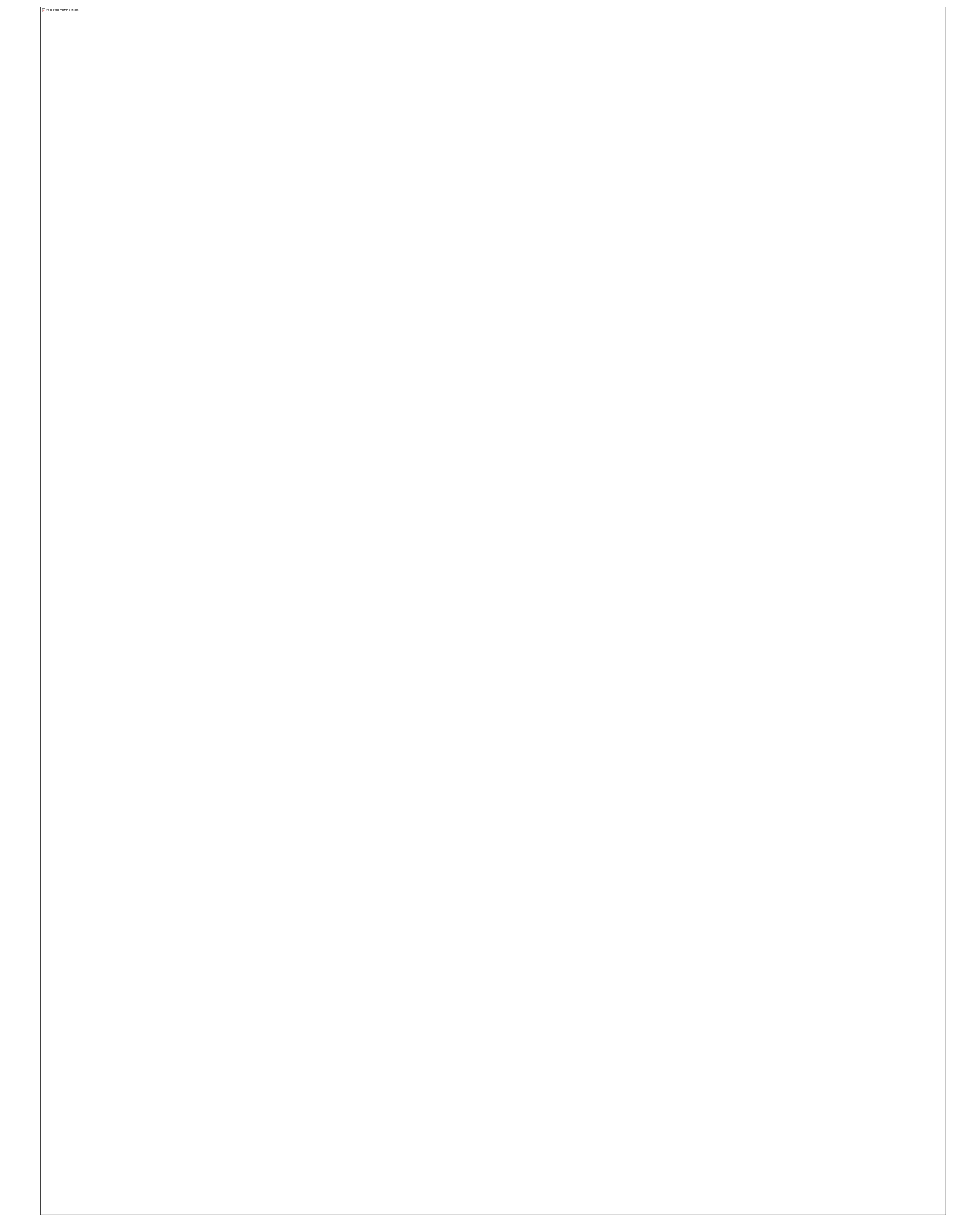

No se puede mostrar la imagen.

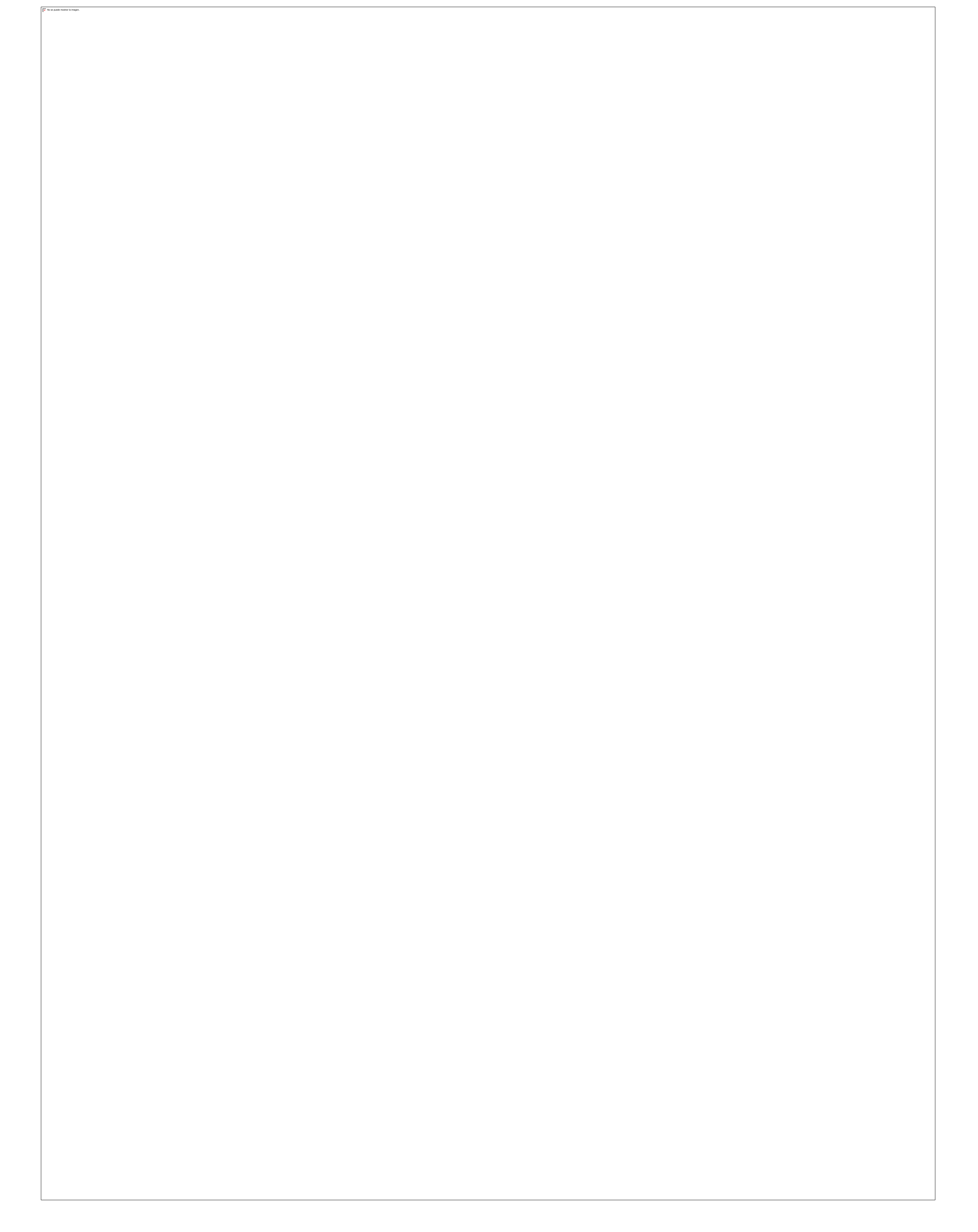
No se puede mostrar la imagen.

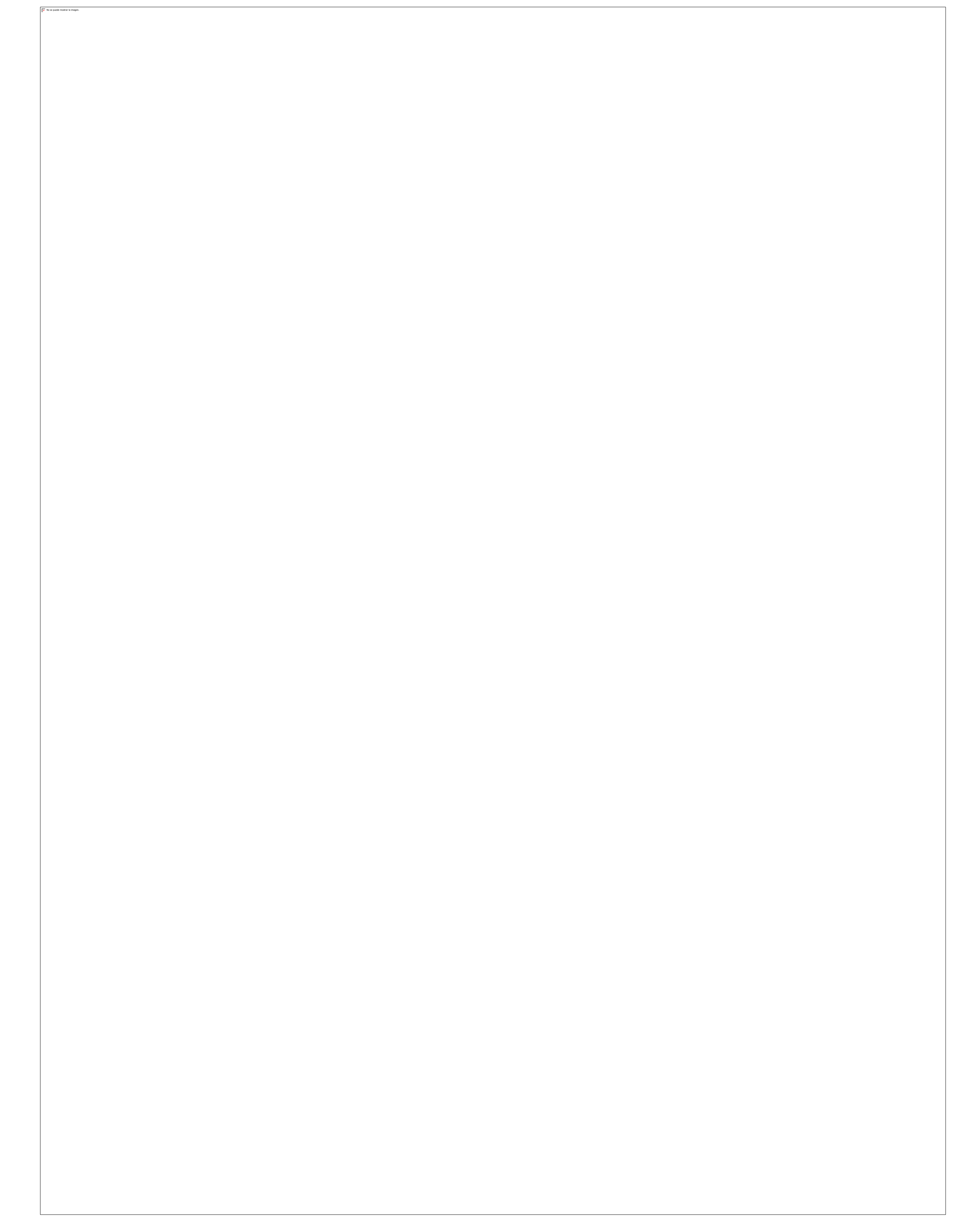

No se puede mostrar la imagen.

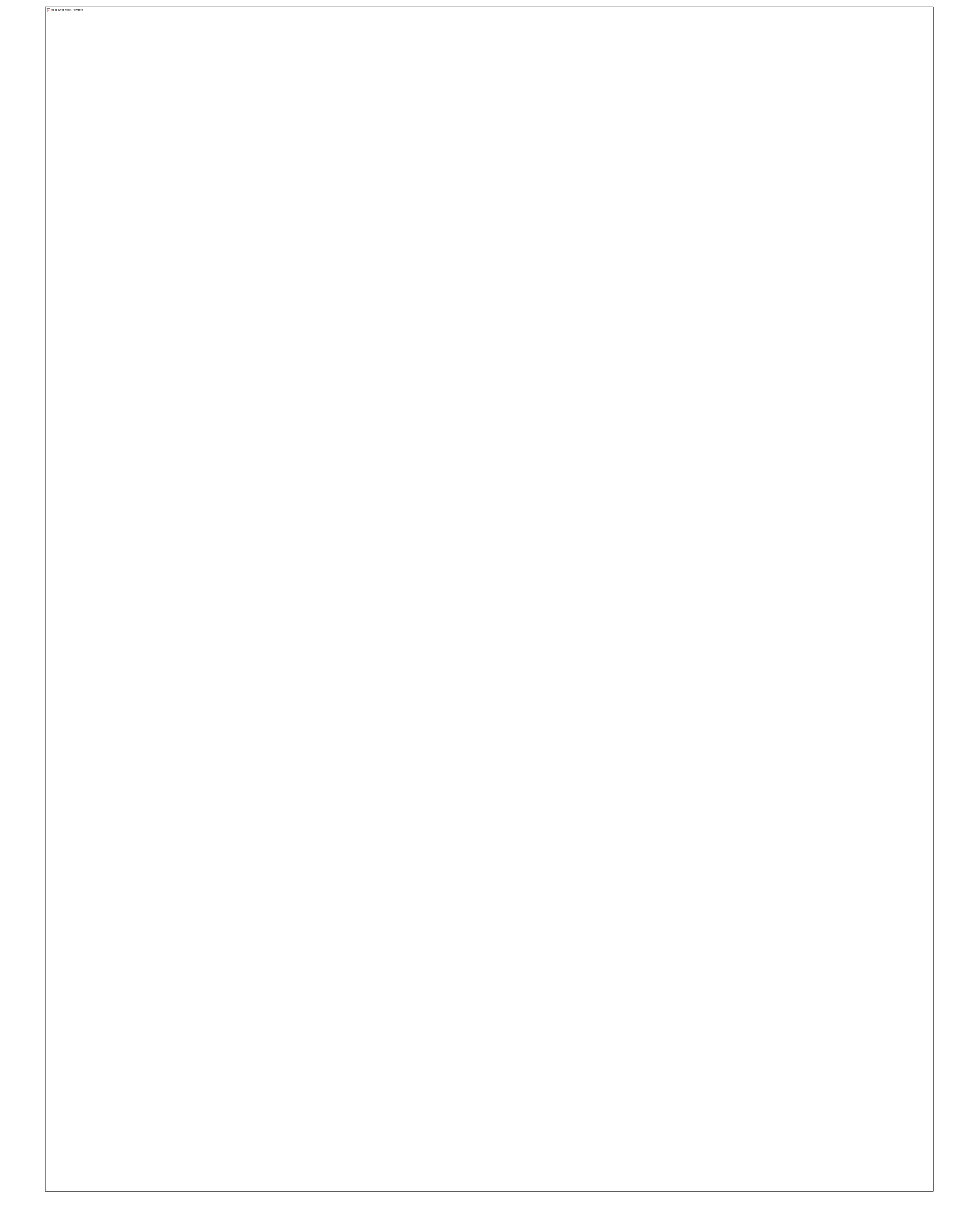
No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

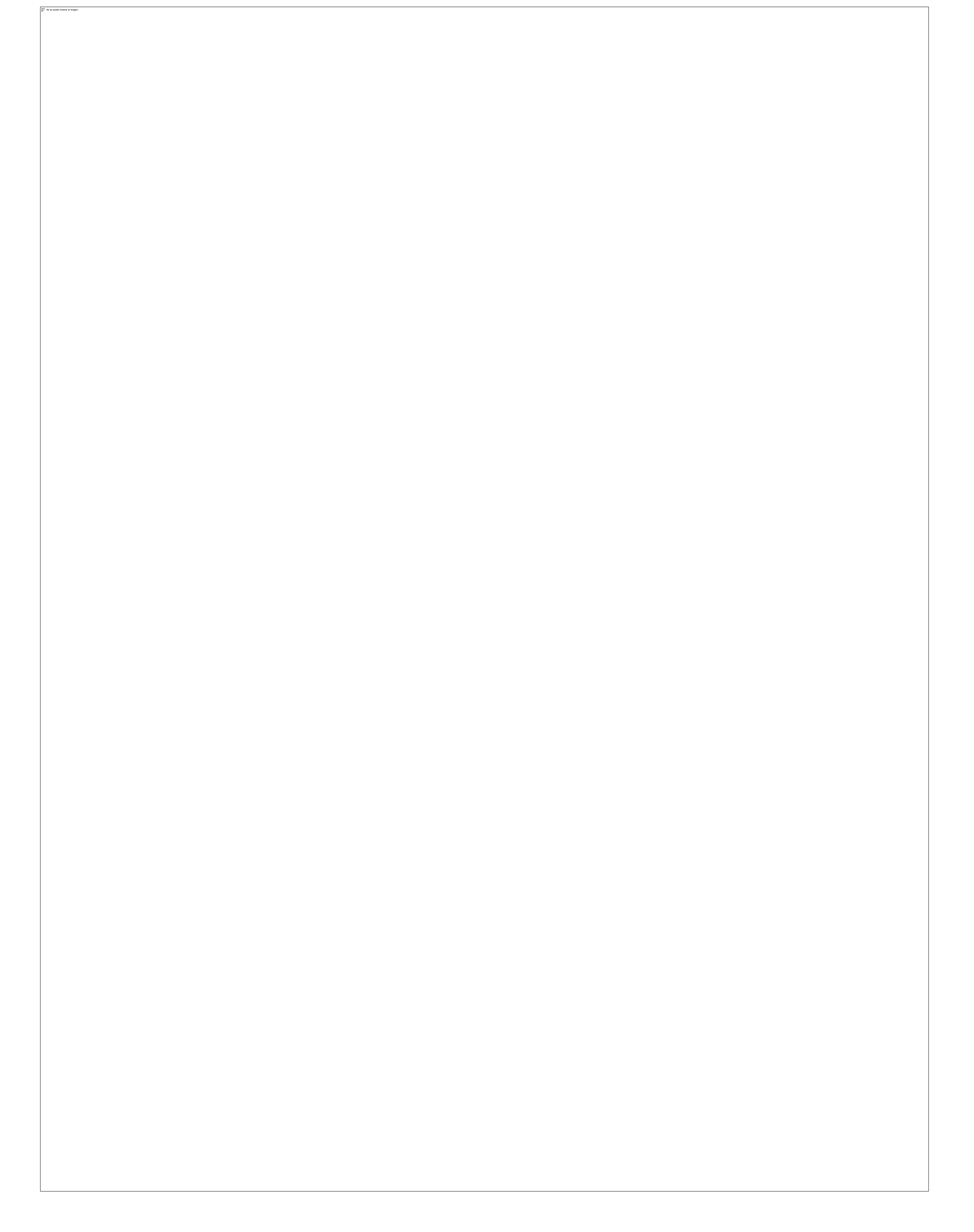

No se puede mostrar la imagen.

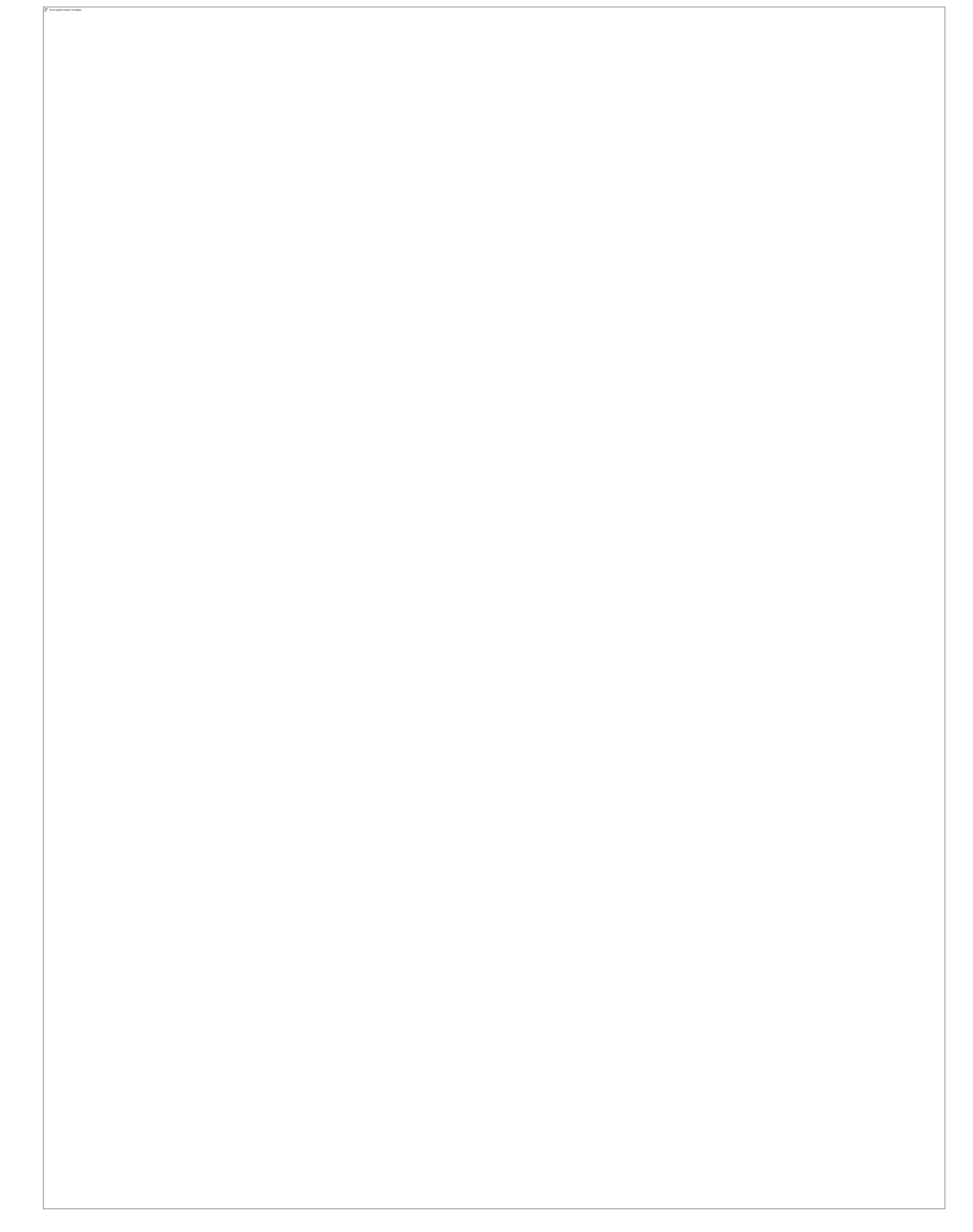

No se puede mostrar la imagen.

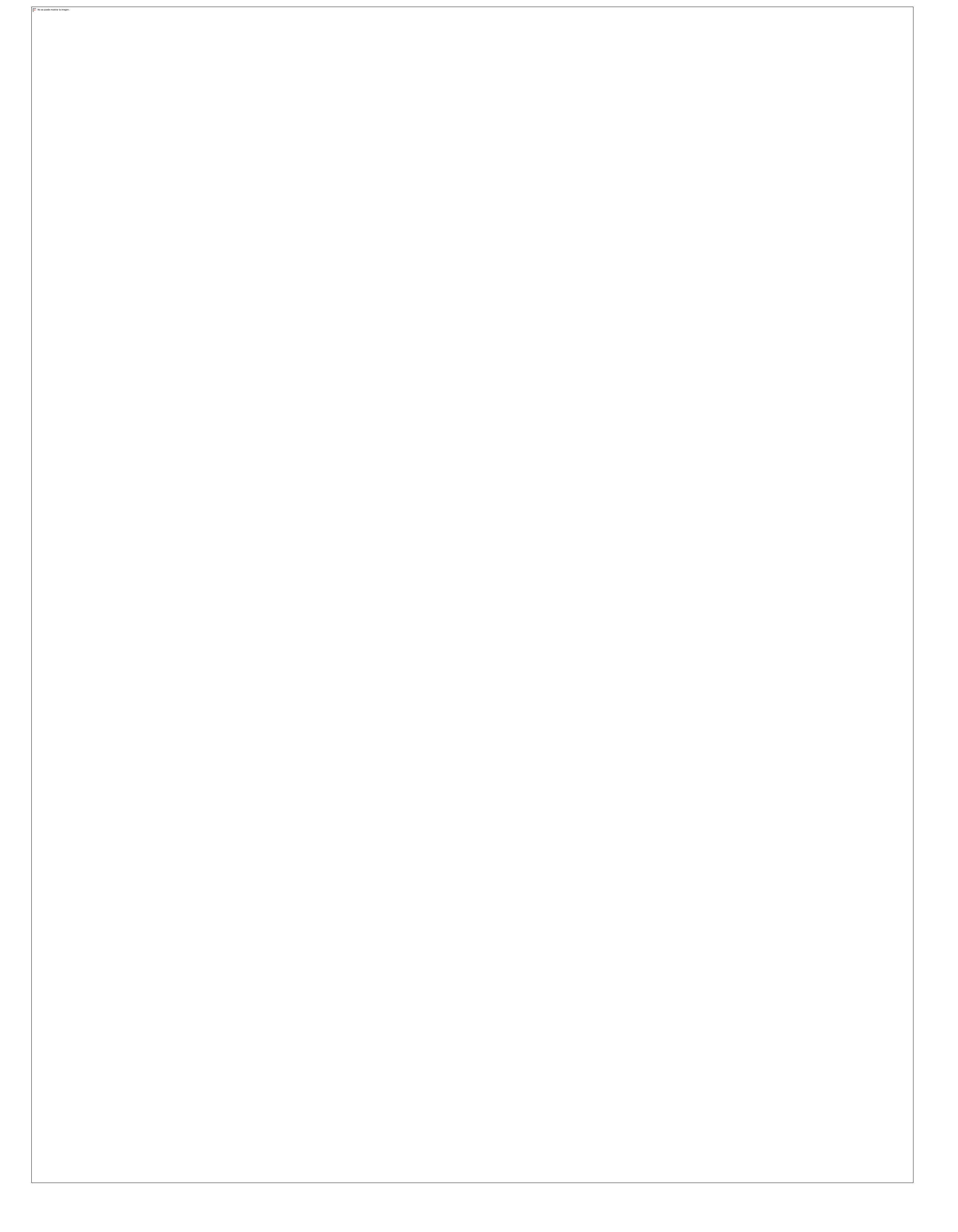

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

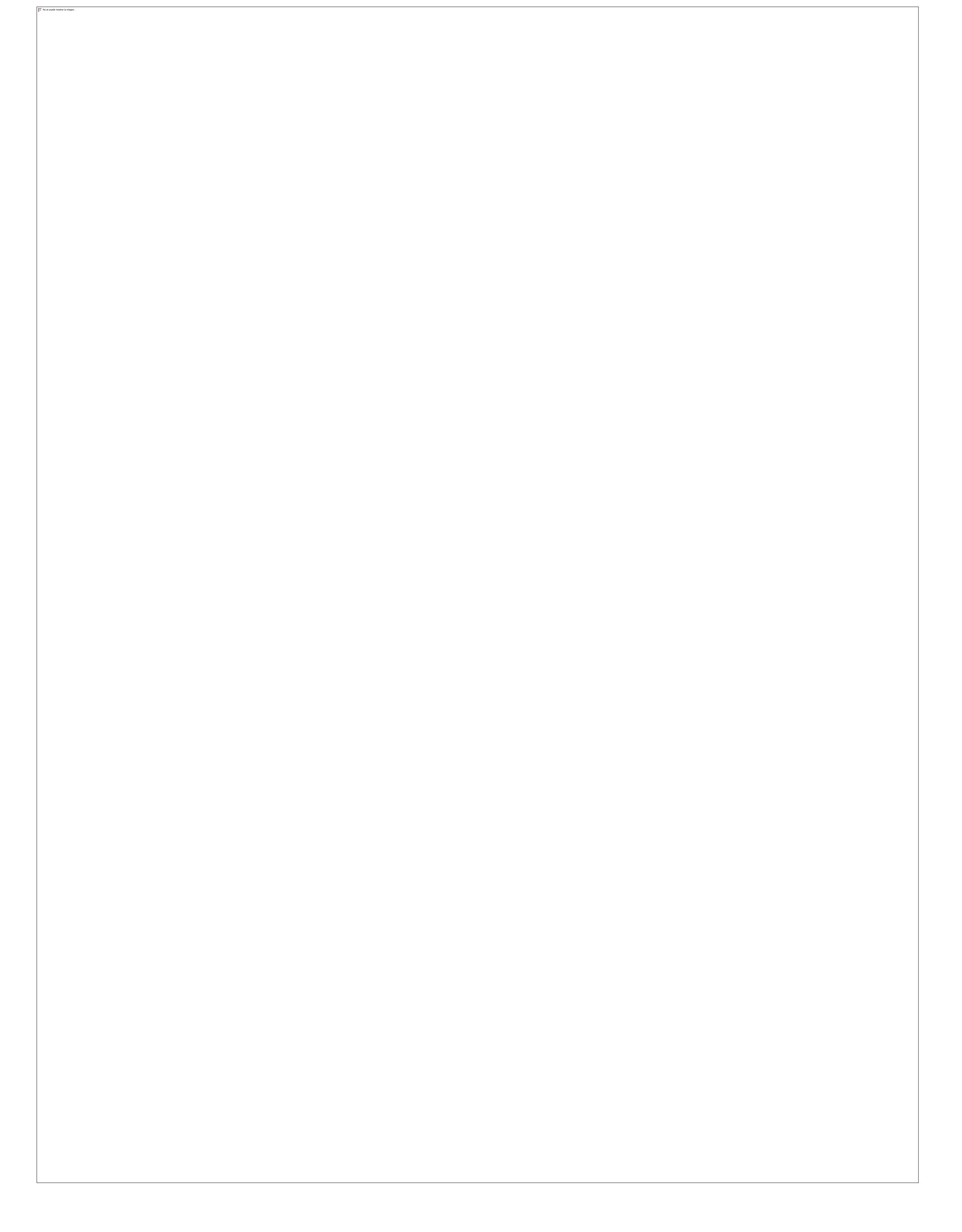
No se puede mostrar la imagen.

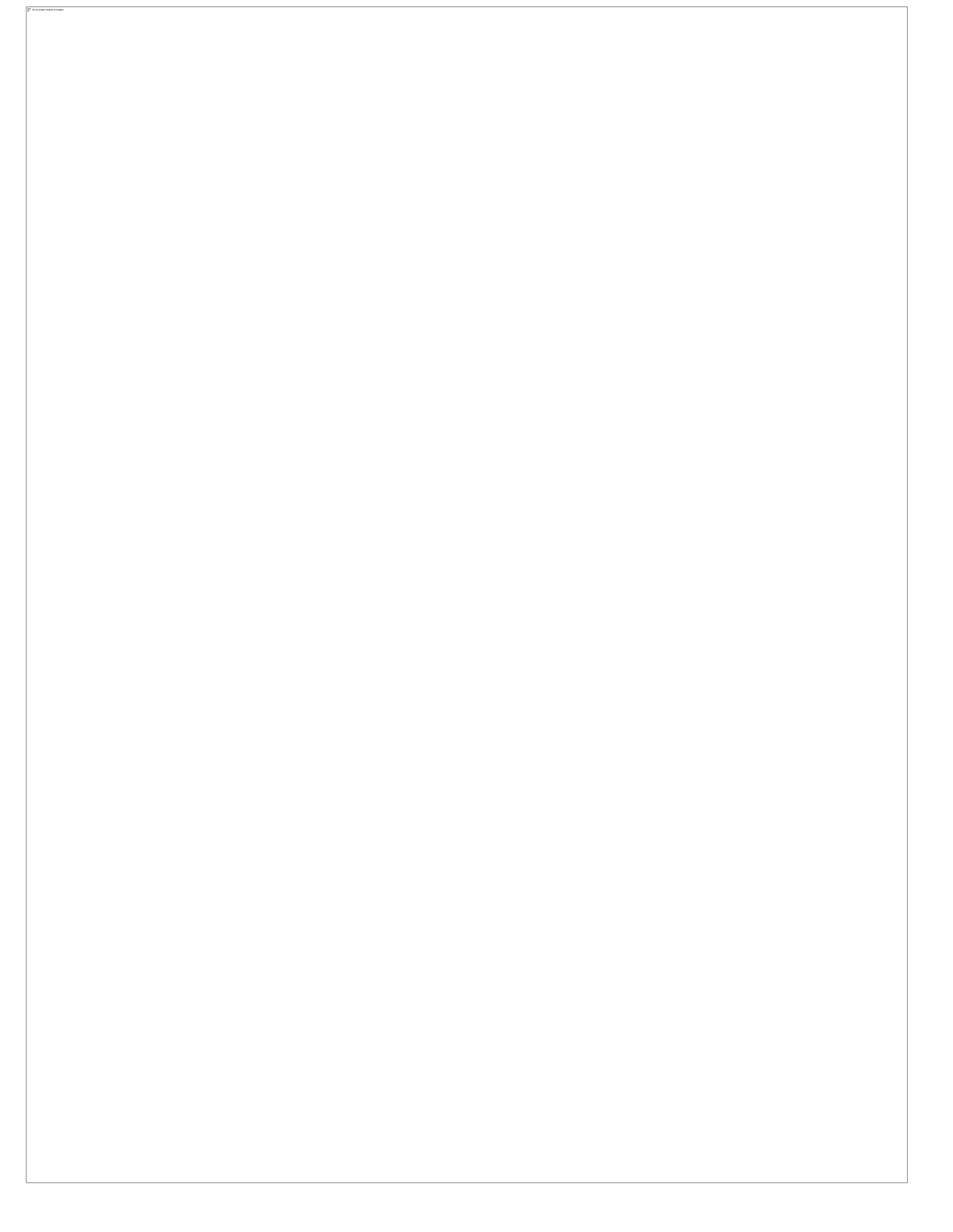

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.

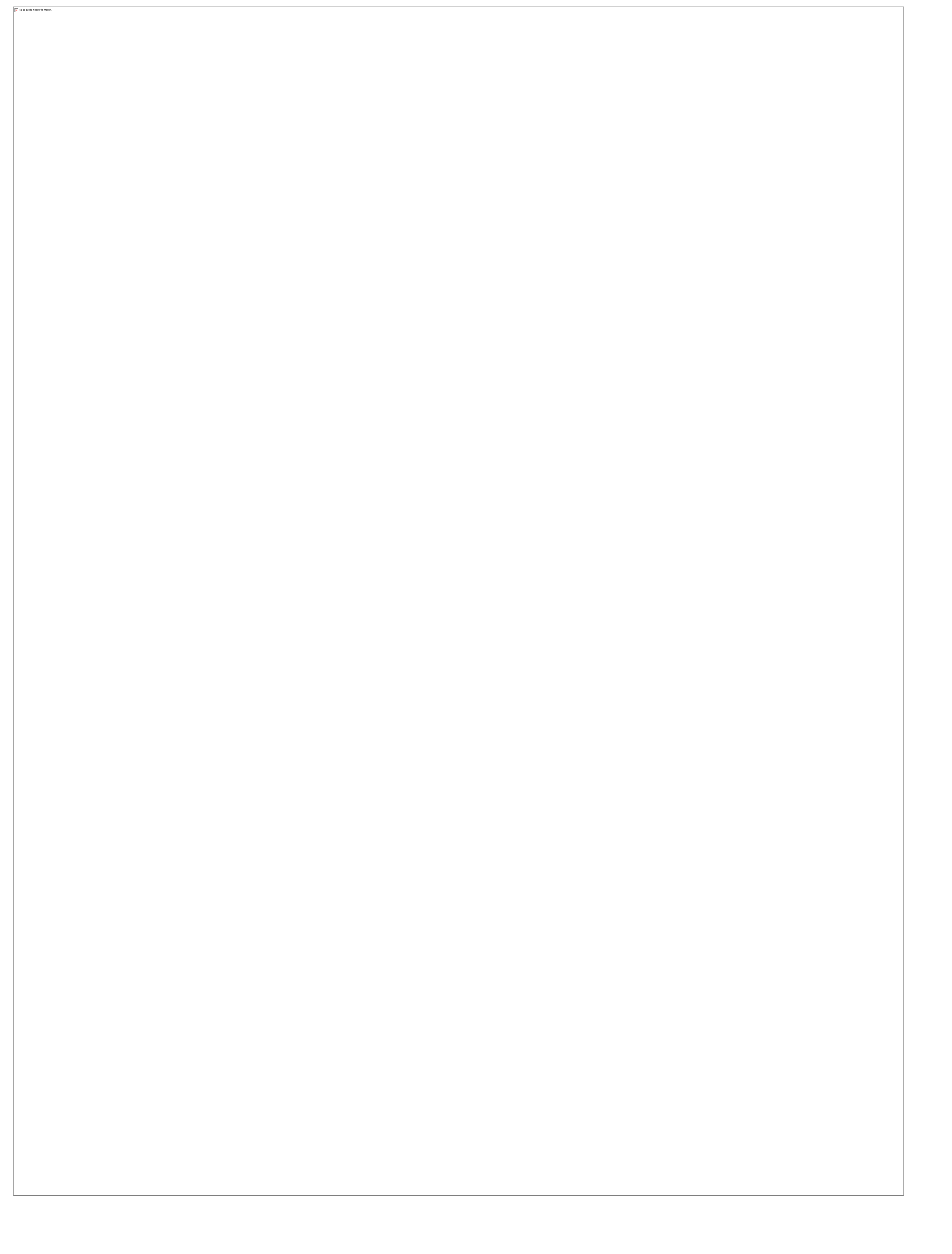

No se puede mostrar la imagen.

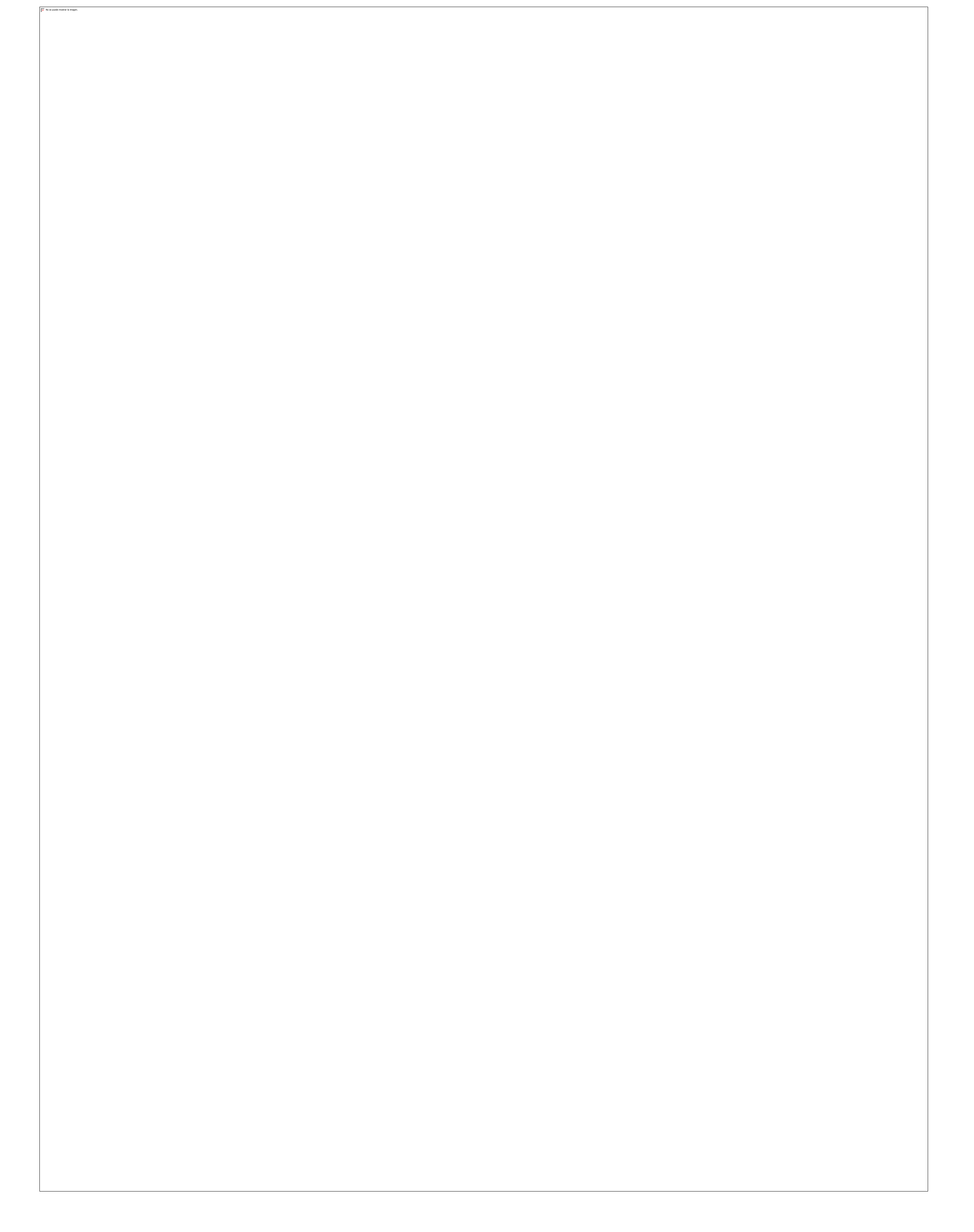
No se puede mostrar la imagen.

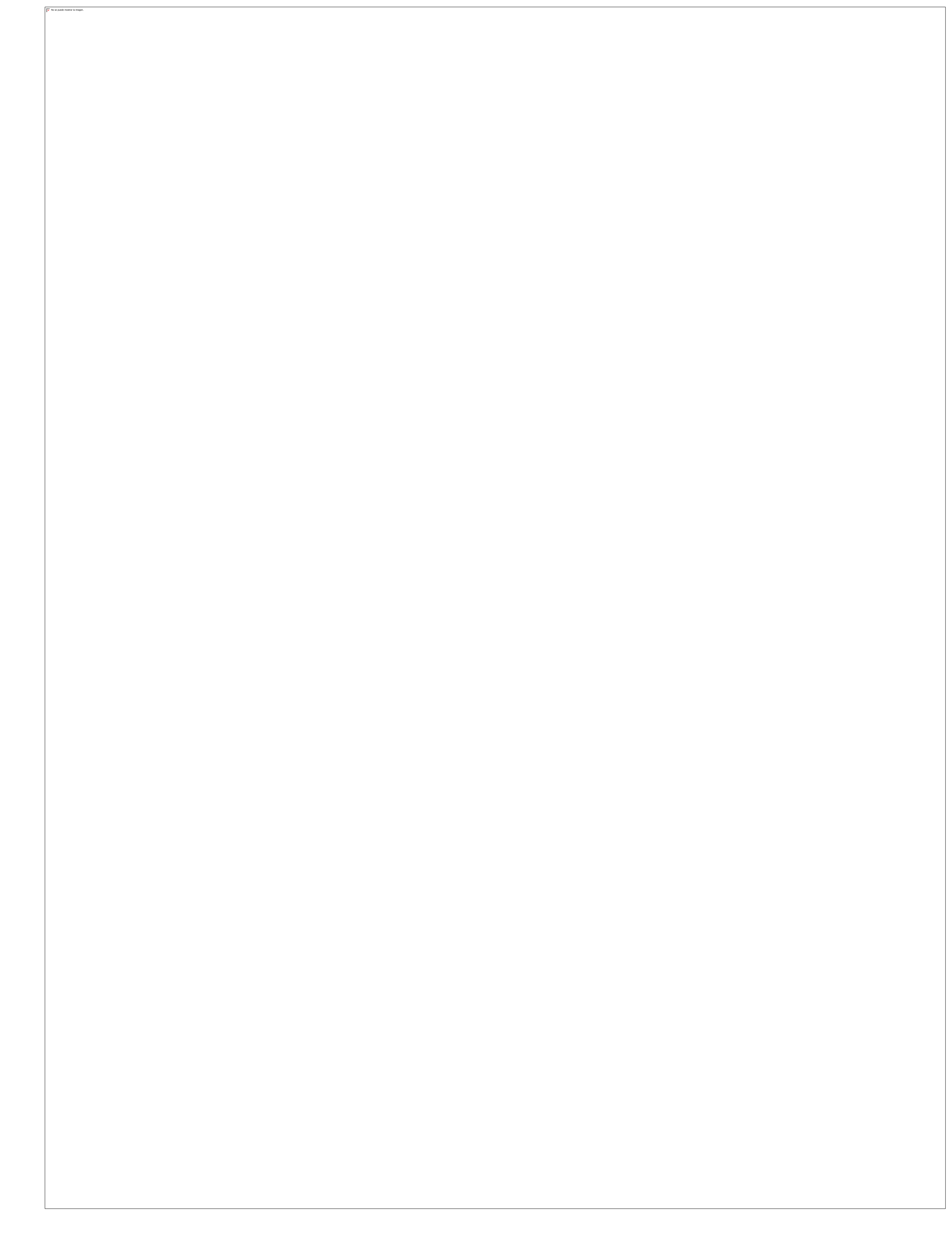

No se puede mostrar la imagen.

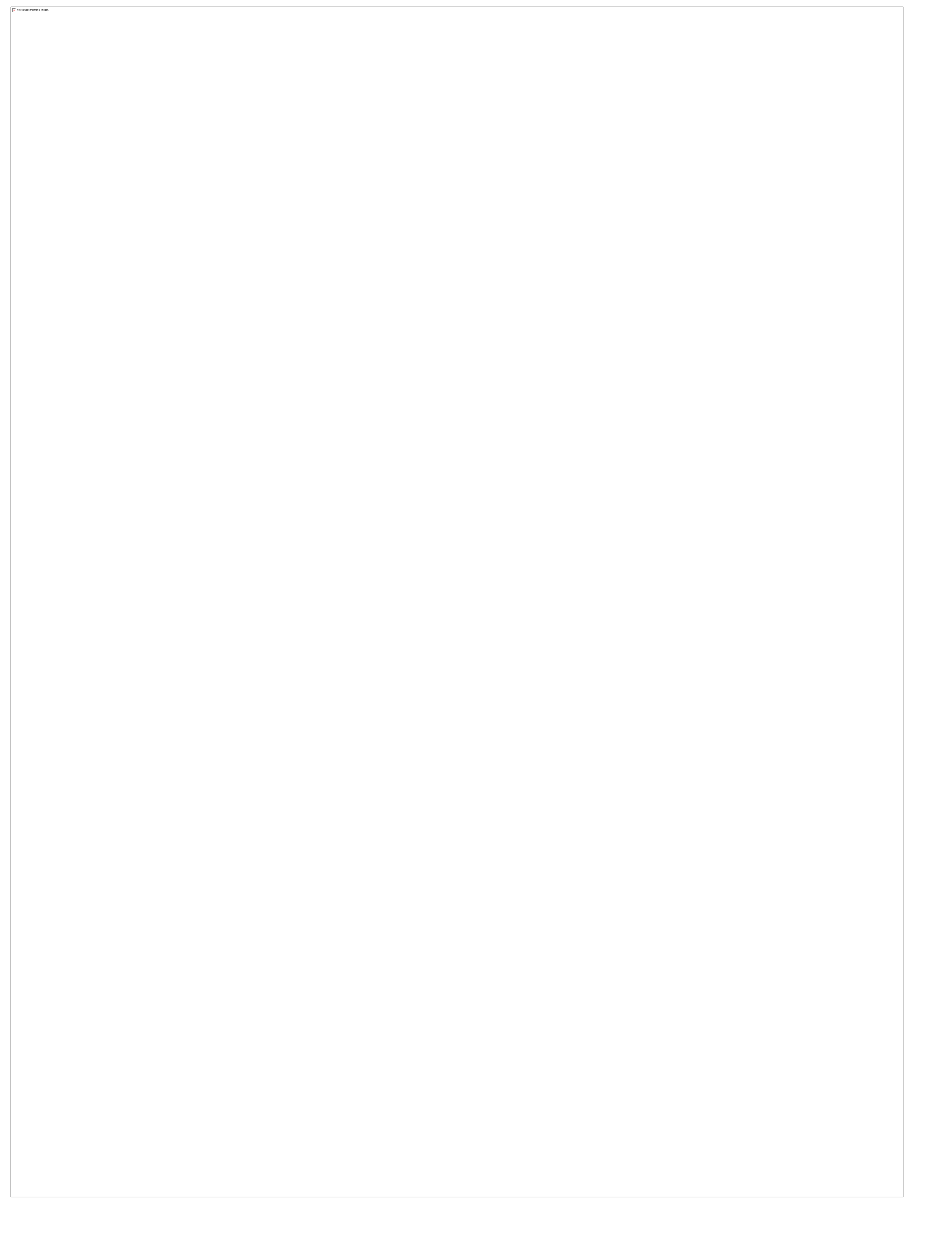

No se puede mostrar la imagen.

No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.


No se puede mostrar la imagen.